







### МИНИСТЕРСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **ЛЕСОУГЛЕРОДНЫЙ РЕСУРС БЕЛАРУСИ**

Монография

Минск БГТУ 2018 **Лесоуглеродный ресурс Беларуси** / Л. Н. Рожков [и др.] / под общ. ред. Л. Н. Рожкова, И. В. Войтова, А. А. Кулика. — Минск : БГТУ, 2018. — 247 с. ISBN 978-985-530-698-7.

В монографии изложены оценки белорусских экспертов по проблеме вклада лесного хозяйства Беларуси в смягчение погодно-климатических воздействий на окружающую природную среду на путях поглощения лесами атмосферного диоксида углерода и его частичной секвестрации в компонентах лесного фонда. Рассмотрены вопросы расчета выбросов и поглощения углекислого газа, углеродный бюджет лесного фонда Беларуси, влияние возрастной и породной структуры на поглощение лесами углекислого газа, мероприятия по увеличению абсорбции углекислого газа лесами и пр.

Монография рассчитана на специалистов лесного хозяйства, экологии и экономики, природопользования, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов лесохозяйственных и биологических факультетов и др.

Табл. – 55. Ил. – 18. Библиогр. – 254.

Рассмотрена и рекомендована к изданию редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета.

#### Авторы:

Л. Н. Рожков, И. В. Войтов, А. А. Кулик, Н. Н. Юревич, В. Ф. Багинский, Л. Л. Навойчик, А. С. Клыш, Д. И. Филон, М. В. Юшкевич, Д. В. Шиман, Т. А. Жарская, О. В. Лапицкая, В. Л. Красовский

Под общей редакцией Л. Н. Рожкова, И. В. Войтова, А. А. Кулика

#### Рецензенты:

Торчик В. И. член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, заведующий лабораторией декоративного садоводства Центрального ботанического сада НАН Беларуси

Сарнацкий В. В. доктор биологических наук, главный научный сотрудник ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича» НАН Беларуси

Настоящая публикация подготовлена в рамках реализации проекта «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» при финансировании мероприятий из средств гранта Глобального экологического фонда (ГЭФ). Содержащиеся в ней выводы, толкования и заключения могут не отражать мнения Всемирного банка и исполнительных директоров Всемирного банка или правительств представляемых ими стран, а также мнения агентств ГЭФ и доноров. Национальные границы, цвета, обозначения и другая информация, указанная на картах, включенных в настоящее издание, не являются выражением мнения Всемирного банка и ГЭФ относительно правового статуса определенной территории либо поддержки или признания таких границ.

ISBN 978-985-530-698-7

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2018

## содержание

1. ВСТУПЛЕНИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	(
1.1. Введение	
1.2. Список таблиц	1
1.3. Список рисунков	2
1.4. Перечень основных сокращений, символов, единиц из-	
мерения, терминов с их определением	2
2. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ	
И ПОГЛОЩЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	
В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	2
2.1. Анализ существующих в мире методик, инструментов,	
технологий сбора информации для определения уровня аб-	
сорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота)	2
2.2. Использование ГИС «Лесные ресурсы» для расчета аб-	
сорбции парниковых газов в лесном фонде Республики Бе-	
ларусь	4
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА	
(ПУЛОВ) В ЛЕСНОМ ФОНДЕ БЕЛАРУСИ	5
4. УГЛЕРОДНЫЙ БЮДЖЕТ ЛЕСНОГО ФОНДА	
БЕЛАРУСИ	6
4.1. Леса Беларуси как источник абсорбции углекисло-	
го газа	6
4.2. Компонентная структура лесоуглеродного ресурса Бе-	
ларуси	6
4.3. Болотные леса Беларуси в свете углерододепонирования	7
4.4. Прогноз абсорбции углекислого газа лесным фондом	_
Республики Беларусь	7
4.4.1. Прогноз древесных запасов и абсорбции углеки-	
слого газа в условиях традиционных лесохозяйствен-	
ных мероприятий	7
4.4.2. Прогноз абсорбции углекислого газа лесным фон-	
дом Беларуси на период до 2030 года в условиях заяв-	
ляемых объемов заготовки древесины	7

4 Содержание

5. ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ	
НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛЕСАМИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА 5.1. Программа, методика исследований и эксперименталь	
ный материал	
5.2. Запасы и прирост депонированного углерода сосновыми насаждениями по классам возраста	
5.3. Оптимизация возрастной структуры древостоев на ос	
нове экологической спелости леса	
5.4. Заключение	
•	
6. ВЛИЯНИЕ ПОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ	
НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛЕСАМИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	
6.1. Сравнительный анализ поглощения углекислого газ	
насаждениями различных пород	
6.2. Сравнительный анализ поглощения углекислого газ	
различными породами	
6.3. Оценка депонирования углерода лесными почвами	
6.4. Предложения по оптимизации породной структуры	
лесного фонда с максимизацией поглощения углекисло	
го газа	139
7. МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ МЕРОПРИЯТИЙ	
ПО УВЕЛИЧЕНИЮ АБСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	141
7.1. Анализ наилучших мировых практик по увеличения	
абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота)	
7.2. Сравнительный анализ уровня абсорбции парниковы	
газов лесами и болотами	
7.3. Заключение	162
9 OF2OD 24KOHOZATEZŁCTRA	
8. ОБЗОР ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЧАСТИ АБСОРБЦИИ	
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ЛЕСАМИ	166
8.1. Законодательные акты Республики Беларусь в части из	
менения климата и парниковых газов	
8.2. Международное сотрудничество Республики Беларус	
по сохранению устойчивого климата и международные до	
говора, действующие в сфере охраны окружающей среды.	
8.3. Текущая ситуация по вопросам воздействия лесов н	
парниковые газы и климат	a 180
HADDIN TONODO LADDI YI NJIYIMA I	

9. МЕРОПРИЯТИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА ДЕЙСТВИЙ	
ПО УВЕЛИЧЕНИЮ АБСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА	
ЛЕСНЫМ ФОНДОМ БЕЛАРУСИ	185
9.1. Стратегия увеличения абсорбции углекислого газа лесным фондом Беларуси	185
9.2. Мероприятия Национального плана действий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом Бе-	
ларуси на период до 2030 года	191
выводы и рекомендации	204
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	225

## ВСТУПЛЕНИЕ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Среди глобальных экологических проблем последствия изменения климата оказывают наиболее существенное влияние на устойчивое развитие человеческой цивилизации. Последняя четверть двадцатого и текущие годы двадцать первого веков отмечены резким потеплением. На этот процесс главное влияние оказывает изменение состава атмосферы, существенное повышение количества парниковых газов.

Чтобы избежать последствий изменения климата, прежде всего, нужно снизить уровень парниковых газов в атмосфере. Помочь с этим может только восстановление площадей лесных массивов. К сожалению, общая площадь лесов планеты за период с 1995 года по наши дни сократилась на 3%. Всемирный банк с участием программы малых грантов Глобального экологического поддерживают направления предотвращения изменений климата, в том числе вырубки лесов, способствуют расширению лесоразведения, лесовосстановления, а также увеличению общего вклада лесов в обеспечение устойчивого развития.

Примером долгосрочного стратегического сотрудничества Всемирного банка и Глобального экологического фонда с Правительством Республики Беларусь по устойчивому управлению лесами является новый проект «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» (2015 г.). Республика Беларусь входит в число самых лесистых стран Европы и Центральной Азии. Этот проект является вторым проектом в лесном секторе Республики Беларусь, профинансированным Всемирным банком.

Первый проект по развитию лесного хозяйства, реализованный в период с 1994 по 2002 годы, фактически стал первым инвестиционным проектом Всемирного банка в Беларуси. За счет Всемирного банка была внедрена информационная система управления лесным хозяйством, системы мониторинга лесов и загрязненных радионуклидами и заболоченных земель, закуплена современная техника для

лесовыращивания и заготовки древесины, оснащен лесной селекционно-семеноводческий центр, реализованы образовательные программы на базе Белорусского государственного технологического университета и отраслевого учебного центра, укреплена материальная база лесных научных и учебных учреждений.

Одним из компонентов этого проекта стал Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси на период 1997–2015 годов. В прошлом наиболее значимым документом стратегического планирования был Генеральный план развития лесного хозяйства Белорусской ССР, составленный в 1959 году и рассчитанный до 1975 года. Этот программный документ определял условия и темпы развития лесного хозяйства на 17 лет. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси, принятый в 1997 году, отличался от всех предыдущих программных документов более широким охватом проблем лесного хозяйства и затрагивал совершенствование форм собственности и управления в отрасли, решение экономических задач, развитие образования и лесной науки, техническое совершенствование лесного хозяйства и внедрение передовых технологий, оптимизацию кадрового обеспечения, проблемы разработки новой лесной политики и законодательства. Особое внимание было уделено вопросам экологии леса как основы стабилизации среды обитания человека и других организмов, осложненной радиационным загрязнением территории, проблемами осушения лесов, поражением пожарами, вредителями и болезнями, другими негативными антропогенными воздействиями на лесную экосистему республики.

В последующем, в Беларуси с участием Всемирного банка реализована региональная программа «Правоприменение и управление в лесном секторе стран восточного региона действия Европейского инструмента соседства и партнерства-2», одним из мероприятий которой явилась разработка Стратегического плана развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год. Он утвержден заместителем Премьер-министра Республики Беларусь М.И. Русым 23 декабря 2014 г. (№ 06/201-271) и в полной мере согласуется с положениями нового Лесного кодекса (2016 г.). Мероприятия, планируемые к реализации, можно рассматривать как новые задачи и подходы при управлении лесами Беларуси.

Цели проекта «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» состоят в повышении эффективности управления лесохозяйственной деятельностью, лесовосстановления и лесоразведе-

ния, увеличения использования порубочных остатков и повышения вклада лесов в достижение общественных благ в целевых лесных районах Заемщика.

Коллективная монография является результатом выполнения задания «О подготовке мероприятий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года», выполненного по Контракту № BFDP/GEF/CQS/16/25-26/17 от 23 октября 2017 г. между Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь и Белорусским государственным технологическим университетом в рамках проекта «Развитие лесного сектора Республики Беларусь» TF0A1173 ГЭФ/ВСЕМИРНЫЙ БАНК. Изложены оценки белорусских экспертов по проблеме вклада лесного хозяйства Беларуси в смягчение погодно-климатических воздействий на окружающую природную среду на путях поглощения лесами атмосферного диоксида углерода и его частичной секвестрации в виде углерода фитомассы, органического углерода почвы и других компонентов лесного фонда. Рассматриваются вопросы: методологии расчета выбросов и поглощения углекислого газа в лесных экосистемах; определения запаса и потоков углерода (пулов) в лесном фонде Беларуси; углеродный бюджет лесного фонда Беларуси; влияние возрастной и породной структуры на поглощение лесами углекислого газа; международный опыт мероприятий по увеличению абсорбции углекислого газа лесами; обзор законодательства Республики Беларусь в части абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота); мероприятия Национального плана действий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом Беларуси.

Монография рассчитана на специалистов лесного хозяйства, экологии и экономики, природопользования, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов лесохозяйственных и биологических факультетов и других.

#### 1.1. Введение

Современная парадигма отношения человеческого общества к лесу не воспринимает лес только как источник древесины и других его материальных ресурсов. Ключевое значение начинает приобретать средообразующая функция леса, его особая социально-экологическая роль в обеспечении здоровой жизненной среды на планете.

1.1. Введение 9

В последнее время большие опасения вызывает индустриальная эмиссия диоксида углерода, рост его концентрации в атмосферном воздухе, возможные последствия в части изменений климата.

Климатические изменения последних десятилетий, по мнению большинства человечества, вызваны ростом концентрации парниковых газов в атмосфере планеты. Основными парниковыми газами, способными дестабилизировать состояние атмосферы, являются углекислый газ, метан, закись азота и фторхлоруглероды. В общем объеме парниковых газов преобладает углекислый газ – 76%.

Значимость лесов в регуляции содержания парниковых газов в атмосфере была признана ключевой международными соглашениями по сохранению глобального климата. Поглощение веществ лесными растениями осуществляется в процессе питания. Различают углеродное, или воздушное, питание растений (фотосинтез), водное (водород и кислород), азотное и минеральное.

Азотное питание происходит через корни за счет минерализованного аммиачного азота. Удельный вес поглощения растениями закиси азота незначительный по сравнению с азотфиксацией атмосферного молекулярного азота. Существенного влияния лесов на снижение парникового эффекта это не оказывает.

Основным биологическим стоком метана из атмосферы считается его окисление в почве. Поглощение метана лесным фондом не слишком значительное, около 0.5 млн. тонн в эквиваленте  $CO_2$ .

Естественное поглощение фторхлоруглеродов лесными насаждениями Республики Беларусь не превышает 4 тонны в год.

Функция леса и других растительных сообществ лесного фонда как поглотителей парниковых газов реализуется, главным образом, через поглощение углекислого газа при первичном синтезе органических веществ (фотосинтез). В этой связи, рассматриваемые в настоящей монографии действия в лесах и болотах по парниковым газам включают планирование мероприятий по увеличению абсорбции углекислого газа на всех видах земель лесного фонда Республики Беларусь.

В биомассе древесного запаса и других компонентов лесной экосистемы Республики Беларусь накоплены значительные запасы углерода. Только за 1956–2017 годы (объективно достоверный учетный период) его содержание в лесах республики увеличилось более чем на два миллиарда. В эквиваленте CO<sub>2</sub> это соответствует поглощению («изъятию») из атмосферы более семи млрд. тонн

углекислого газа. По расчетам ученых, прирост массы CO<sub>2</sub> («эмиссия») в атмосфере Земли за этот период составил примерно 420 млрд. тонн. Республика Беларусь, население которой составляет всего 0,15% от населения планеты, благодаря своим лесам компенсировала 1,83% мировой эмиссии углекислого газа за последние семь десятилетий. Этот результат, в сопоставлении на единицу населения, в 12 раз эффективнее вклада мировой лесной экосистемы. Особого внимания заслуживает текущая динамика углеродных потоков в лесном фонде Беларуси. В частности, годичная абсорбция углекислого газа землями лесного фонда равнозначна компенсации немногим менее половины индустриальной эмиссии парниковых газов в Республике Беларусь.

Высокая углерододепонирующая эффективность лесов Беларуси является следствием увеличения лесистости страны, повышения продуктивности лесов, экологощадящих объемов заготовки древесины и других факторов. В условиях проявляющей себя в последние годы проблемы глобального обезлесения планеты, сокращения площади и древесных запасов в мировой лесной экосистеме, изучение и распространение опыта белорусских лесоводов по наращиванию лесных ресурсов и «стоку» лесами атмосферного диоксида углерода заслуживают одобрения и распространения.

Углеродный бюджет лесного фонда Беларуси может измениться. На перспективу 2050 года и вторую половину 21-го столетия прогнозируется:

- изменение возрастной структуры лесов в направлении «нормального» леса;
  - допустимое увеличение объемов заготовки древесины;
- рост площади старовозрастных природоохранных лесов, их приближение к биологическому возрасту развития, что делает их источником «эмиссии» углекислого газа.

Вследствие вышеупомянутого годичная абсорбция углекислого газа в лесном фонда может уменьшиться до 20–25 млн. тонн  $CO_2$ /год (уменьшение вдвое по сравнению с 2017 годом). Такая тенденция снижения «стока» углекислого газа противоречит национальной политике в области предотвращения изменения климата. Кроме того, у Республики Беларусь сегодня есть ряд международных обязательств в этом направлении.

Республика Беларусь как член организации SFM – устойчивого управления лесами приняла обязательства по достижению Целей ус-

1.1. Введение 11

тойчивого развития (CDS). В частности, способствовать реализации показателя **1.2.** Сохранить и увеличить мировые запасы углерода в лесах в составе ведущей Глобальной цели 1 среди шести глобальных целей в области лесного хозяйства Стратегического плана Организации Объединенных Наций в отношении лесов, 2017—2030 годы (UNSPF). Указом Президента от 20 сентября 2016 года № 375 Республики Беларусь приняла обязательства по Парижскому соглашению, в частности выбросов парниковых газов.

В этом отношении важной задачей лесохозяйственной отрасли в части сохранения и увеличения запасов углерода в лесах страны, по сути — *Миссией лесного хозяйства Республики Беларусь* по дальнейшему развитию принципов *устойчивого управления лесами* становится

«Эмиссия углерода от древесины, заготовленной при рубках главного пользования, обновления и прочих, компенсируется увеличением абсорбции атмосферного диоксида углерода лесами в процессе действий ответственного лесопользования».

## Показателями ответственного лесопользования становится также условие

«Масса углерода, депонированного в ежегодном объеме вывозки заготовленной древесины от рубок главного пользования, рубок обновления, переформирования, реконструктивных и прочих, не должна превышать годичной абсорбции в эквиваленте углекислого газа от целевых мероприятий по повышению углеродопродуктивности лесов и нелесных земель лесного фонда».

Именно по этим причинам Всемирный банк и Глобальный экологический фонд в рамках *Проекта развития лесного сектора Республики Беларусь* инициировали разработку вышеупомянутого задания по увеличению абсорбции парниковых газов лесами и Национального плана действий.

Цель задания — *Создание благоприятной сопутствующей среды* при реализации Миссии лесного хозяйства в части сохранения и увеличения запасов углерода в лесах Республики Беларусь.

Задачами задания были приняты следующие:

- разработать реальные механизмы сохранения достигнутых показателей углеродного бюджета лесного фонда Республики Беларусь до 2030 года;
- рекомендовать лесохозяйственной отрасли Республики Беларусь эффективные хозяйственные и иные мероприятия по по-

вышению годичной абсорбции углекислого газа компонентами лесного фонда. Тем самым обеспечить компенсацию за 2018-2030 гг. выбросов углекислого газа в объеме порядка 24 млн. тонн от планируемого увеличения на 22 млн. куб. метров или на 41,4% по отношению к 2017 году объемов заготовки древесины при рубках главного пользования и прочих рубках леса;

- подготовить проект «Национального плана действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года» с разработкой комплекса мер по его реализации с указанием конкретных мероприятий, их объемов, сроков выполнения, разбивкой по ответственным исполнителям (лесофондодержателям, ГПЛХО, другим заинтересованным);
- разработанные по заданию стратегии, планы, лесохозяйственные и другие мероприятия должны быть научно обоснованными, включать в себя передовой международный и отечественный опыт, учитывать баланс социальных, экологических и экономических интересов белорусского общества и международные обязательства Республики Беларусь.

Решение задачи поддержания годичной абсорбции углекислого газа в лесном фонде исполнители задания видят на путях **повышения продуктивности лесов.** В этом отношении перспективны планируемые лесохозяйственные мероприятия по:

- созданию лесных культур сеянцами высоких селекционных характеристик с закрытой корневой системой;
  - реконструкции малоценных лесных насаждений;
- сокращению оборота рубки при несплошных способах рубки леса на путях сохранения подроста и предварительного содействия естественному возобновлению.

Указанные мероприятия являются механизмом долговременного воздействия по повышению продуктивности лесного насаждения.

Высокие ожидания связаны также с многоплановыми действиями по *увеличению средней полноты* насаждений, на увеличение которой обращали мало внимания лесоводы республики в прошлом, но где возможны высокие прибавки прироста древесных запасов на путях совершенствования лесовосстановления и ухода за лесом.

Болотные леса, занимая 18,6% общей площади, обеспечивают почти половину бюджета углерода в лесном фонде Беларуси. Важно сохранить и усилить углерододепонирующую функцию

1.1. Введение 13

болотных лесов. Некоторая часть болотных лесов вовлечена в лесопользование, а при возрастающих темпах строительства лесных дорог их лесозаготовительная функция может быть расширена. В условиях интенсивного прироста спелых лесов по суходолу целесообразно снизить лесозаготовки в болотных лесах. В этом отношении планируемые Национальным планом изменения в болотных лесах в части направления лесного хозяйства в сторону усиления природоохранного режима целесообразны и весьма эффективны как в целях углерододепонирования, так и сохранения и повышения биоразнообразия лесов.

Лесное хозяйство выполняет мероприятия по оптимизации возрастной и породной структуры лесов. Оценки влияния изменений возрастной и породной структуры лесов Беларуси на величину абсорбции ими углекислого газа неоднозначны по причине учитывать баланс эколого-экономических интересов и пока неоднозначно определяемого вектора воздействия погодно-климатических изменений на лесную экосистему Беларуси.

Изменение возрастной структуры лесов осуществимо за длительные (многие десятилетия) периоды. Идеальная возрастная структура лесов, так называемый «нормальный» лес в видении лесоводов, и сопутствующее ему равномерное лесопользование, по величине годичной абсорбции углекислого газа вовое меньше текущего уровня годичной абсорбции. По этой причине сдержанно рассматривается вопрос оптимизации возрастной структуры лесов.

Равно как и корректировать действующую программу оптимизации породной структуры лесов Беларуси нет необходимости. *Изменение породной структуры лесов* Беларуси в любых пропорциях древесных пород, с учетом баланса эколого-экономических интересов, *не изменит* величину годичной абсорбции лесами углекислого газа.

Указанные и другие мероприятия по увеличению абсорбции углекислого газа в лесном фонде нуждаются в совершенствовании *институциональной среды углерододепонирования* лесов, что также нашло отражение в разработанных мероприятиях.

Законодательная база реализации возможностей лесов Беларуси в области углерододепонирования и стабилизирующего влияния на негативное проявление погодно-климатических изменений достаточная. Это отражено в Указе Президента от 20 сентября 2016 г. №345 с решением принять Парижское соглашение от

22 апреля 2016 г., в Государственной программе мер по смягчению последствий изменения климата на 2013–2030 годы и других документах.

В рамках лесохозяйственной отрасли необходима разработка отдельных актов. Среди них:

- необходимость *мониторинга углеродных потоков* посредством Государственного лесного кадастра;
- учет углерододепонирования при обосновании *расчетной лесосеки*:
- более углубленное отражение мероприятий по углерододепонированию в *песоустроительных проектах*;
- придать статус нормативно-правового акта действующему методическому документу по расчетам поглощения и выбросов углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь.

Порядка 94% объемов планируемых мероприятий по увеличению абсорбции углекислого газа в лесном фонде приходится на Министерство лесного хозяйства — основного лесофондодержателя. Тем не менее, в работу вовлечены также и другие органы государственного управления лесами. Со временем их участие в мероприятиях по абсорбции углекислого газа лесами, несомненно, будет возрастать.

Леса Республики Беларусь выполняют значительные экосистемные услуги, не скажем глобального, но уж точно европейского уровня. Среди них углерододепонирующая и экосистемнозащитная услуги. К сожалению, оплата этих экосистемных услуг нормативно-правовой базой и практикой не предусмотрены. Мероприятия по сокращению и увеличению поглощения лесами Беларуси углекислого газа недостаточно финансируются со стороны белорусского государства и не финансируются международными инвесторами. В то же время ряд других стран с более низкой эффективностью углерододепонирующей услуги лесов, имеют доступ на добровольные углеродные рынки экосистемных услуг лесного хозяйства, получают инвестиции в этой области.

Высокоэффективная углерододепонирующая деятельность лесохозяйственной отрасли Беларуси (за последние шесть десятилетий лесами Беларуси депонировано 7,7 млрд. тонн атмосферного диоксида углерода) заслуживает внимания *международных инвестморов*. Налицо продемонстрирована высокая отдача от вложений в углерододепонирующую услугу лесного хозяйства Беларуси.

1.1. Введение 15

Текущая малопредсказуемая и весьма негативная динамика погодно-климатических воздействий на лесную экосистему оказывают сильнейший пресс (массовое усыхание лесов) на лесное хозяйство Беларуси. Это может влиять на достижение установленных целей устойчивого развития, в том числе реально изменить углеродный бюджет лесов, направить «нетто-поток» углерода в лесах в сторону атмосферы. Такое изменение вектора сегодня произошло в мировой лесной экосистеме в результате проявления проблемы «глобального обезлесения».

Реализация разработанного по заданию ГЭФ /Всемирный Банк «Национального плана действий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом Республики Беларусь на период 2030 года» заслуживает международной финансовой помощи.

К выполнению задания в качестве ключевых экспертов привлечены ведущие ученые и специалисты лесохозяйственной отрасли:

**Рожков Л.Н.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Белорусский государственный технологический университет;

**Войтов И.В.** – доктор технических наук, ректор Белорусского государственного технологического университета;

**Кулик А.А.** – Первый заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь;

**Юревич Н.Н.** – начальник управления лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь;

**Багинский В.Ф.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины;

**Навойчик** Л.Л. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Республиканский центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства;

**Клыш А.С.** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет;

**Филон Д.И.** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет;

**Юшкевич М.В.** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет;

**Шиман** Д.В. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет;

**Жарская Т.А.** – кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет;

**Лапицкая О.В.** – кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой, Гомельский политехнический университет имени Сухого;

**Красовский В.Л.** – ведущий инженер, Лесоустроительное республиканское унитарное предприятие «Белгослес».

Авторами коллективной монографии «Лесоуглеродный ресурс Беларуси» являются: Л.Н. Рожков, И.В. Войтов, А.А. Кулик и Н.Н. Юревич (главы 1, 3, 4 и 9, выводы и рекомендации, общая редакция), В.Ф. Багинский и О.В. Лапицкая (глава 5); Л.Л. Навойчик (глава 6); А.С. Клыш, Д.И. Филон и В.Л. Красовский (глава 2); М.В. Юшкевич и Д.В. Шиман (глава 7); Т.А. Жарская (глава 8).

Авторы выражают благодарность Глобальному экологическому фонду, Всемирному банку, Министерству лесного хозяйства Республики Беларусь, Экспертно-производственному республиканскому унитарному предприятию "Беллесэкспорт", члену-корреспонденту НАН Беларуси, доктору биологических наук Торчику Владимиру Ивановичу и главному научному сотруднику ГНУ "Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича" НАН Беларуси, доктору биологических наук Сарнацкому Владимиру Валентиновичу за помощь и ценные советы при подготовке рукописи.

## 1.2. Список таблиц

44
45
46
51
52
53

Таблица 7. Исходные данные для расчета органического
углерода в лесной подстилке насаждений Беларуси
Таблица 8. Расчет годичных потоков углерода в разрезе
преобладающих древесных пород
Таблица 9. Расчет годичных потоков углерода в разрезе
компонентов лесных насаждений
Таблица 10. Динамика лесного фонда Республики Беларусь
Таблица 11. Сравнительная углеродопродуцирующая про-
дуктивность лесных насаждений Беларуси в различных сери-
ях типов леса (по состоянию на 2010 год)
Таблица 12. Запасы углерода в болотных лесах Беларуси,
тыс. тС (покрытые лесом земли)
Таблица 13. Прогноз площади и запасов лесных насажде-
ний Республики Беларусь
Таблица 14. Прогноз динамики накопления углерода лес-
ными насаждениями до 2050 года
Таблица 15. Прогноз поглощения углекислого газа землями
лесного фонда Республики Беларусь на период 2050 года
Таблица 16. Среднегодичный прирост абсорбции углеки-
слого газа в условиях применения эффективных лесохозяйст-
венных мероприятий
Таблица 17. Эффективность длительного лесохозяйствен-
ного воздействия на накопление углерода
Таблица 18. Ожидаемый эффект за счет накопления угле-
рода от применения целевых лесохозяйственных мероприятий
Таблица 19. Бюджет углерода лесного фонда Республики
Беларусь на 01.01.2017 г.
Таблица 20. Прогнозируемые объемы заготовки древесины.
Таблица 21. Прогноз снижения запасов углерода и "эмис-
сии" углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь
за счет увеличения объемов вывоза заготовленной древесины
Таблица 22. Распределение площадей и запасов сосновых
древостоев Беларуси по классам возраста на 01.11.2017 г
Таблица 23. Масса (кг) плотного кубического метра дре-
весины в зависимости от влажности
Таблица 24. Средние величины классов бонитетов и пол-
нот по классам возраста
Таблица 25. Расчет общих запасов углерода в сосновых дре-
востоях по классам возраста по состоянию на 01.11.2017 г

Таблица 26. Текущий прирост сосновых древостоев Бе-	
ларуси по классам возраста	105
Таблица 27. Текущий прирост углерода по классам возраста	105
Таблица 28. Запасы углерода в сосновых древостоях и их	
текущее изменение по классам возраста на 01.01.2031 года	107
Таблица 29. Корреляция между количеством связанного	
диоксида углерода и другими экологическими функциями	
(по исходным данным М.А. Куцевалова, В.В. Успенского,	
А. К. Артюховского) [128]	113
Таблица 30. Средний прирост на 1 га по хозсекции в сосно-	
вых древостоях II класса бонитета при разных возрастах рубки	115
Таблица 31. Возрасты экологической спелости древостоев	
Беларуси	116
Таблица 32. Площади и запасы сосновых древостоев по	
группам возраста (%)	117
Таблица 33. Оптимальное распределение лесов по классам	
возраста в Республике Беларусь (в процентах от площади, за-	
нимаемой данной породой) при действующих возрастах рубки.	118
Таблица 34. Содержание углерода в фитомассе лесов	
Республики Беларусь	126
Таблица 35. Запас углерода в фитомассе различных дре-	
весных пород	127
Таблица 36. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород на возраст рубки главного пользования по оси-	
не (45 лет)	128
Таблица 37. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород на возраст рубки главного пользования по оль-	
хе черной (55 лет)	129
Таблица 38. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород на возраст рубки главного пользования по бе-	
резе (65 лет)	129
Таблица 39. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород на возраст рубки главного пользования по	
хвойному хозяйству (90 лет)	129
Таблица 40. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород на возраст рубки главного пользования по	
твердолиственному хозяйству (110 лет)	130
Таблица 41. Баланс углерода при замене мягколиствен-	
ных на хвойные и твердолиственные древесные породы (оп-	
тимизация породного состава)	130

Таблица 42. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород (120 лет)	131
Таблица 43. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород (130 лет)	131
Таблица 44. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород (второй оборот рубки 180 лет)	132
Таблица 45. Депонирование углерода насаждениями дре-	
весных пород в 100 лет (заготовка мягколиственных в 50 лет)	132
Таблица 46. Оптимальная структура породного состава	
лесов Республики Беларусь	133
Таблица 47. Депонирование углерода насаждениями при	
оптимизации породного состава	134
Таблица 48. Накопление органического углерода в лес-	
ной подстилке насаждений Беларуси	137
Таблица 49. Накопление органического углерода в почвах	
лесопокрытых земель Республики Беларусь на 01.01.2017 г	138
Таблица 50. Мероприятия по оптимизации породной	
структуры лесного фонда Республики Беларусь	140
Таблица 51. Мероприятия по улучшению институциональ-	
ной среды Национального плана действий по увеличению аб-	
сорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на	100
период до 2030 года	192
Таблица 52. Объемы работ по выполнению мероприятий	
Национального плана действий по увеличению абсорбции	
парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до	102
2030 года	193
Таблица 53. Ожидаемые результаты реализации меро-	
приятий Национального плана действий по увеличению аб-	
сорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на	106
период до 2030 года	196
17	
ции углекислого газа согласно Национальному плану действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотите-	
лями (леса, болота) на период до 2030 года, тыс. т СО <sub>2</sub> /год	108
Таблица 55. Расчет увеличения абсорбции углекислого	170
газа в лесном фонде Республики Беларусь от целевых меро-	
приятий, предусмотренных Национальным планом действий	
по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями	
(леса, болота) на период до 2030 года	200
(1100a), contra) na nopirod do 2000 roda	

## 1.3. Список рисунков

Рисунок 1. Динамика углерода и площади лесного фонда	
Республики Беларусь	61
Рисунок 2. Компонентная структура углеродного бюдже-	
та земель лесного фонда Беларуси	64
Рисунок 3. Накопление углерода и покрытые лесом земли	
в разрезе серий типов леса	68
Рисунок 4. Накопление углерода лесными насаждениями	
в различных лесорастительных условиях	69
Рисунок 5. Сравнительный углеродный бюджет лесов Белару-	
си, в том числе болотных и по суходолу (покрытые лесом земли)	73
Рисунок 6. Общее изменение углерода, депонированного	
лесным фондом Республики Беларусь	82
Рисунок 7. Годичная абсорбция СО2 в лесном фонде ор-	
ганов государственного управления и других ведомств	84
Рисунок 8. Схема сбора и обработки информации	92
Рисунок 9. Распределение площадей сосновых древостоев	
по группам возраста, %	97
Рисунок 10. Распределение запасов сосновых древостоев	
по группам возраста	97
Рисунок 11. Запасы углерода в сосновых древостоях по	
группам возраста, %	103
Рисунок 12. Текущий прирост углерода сосновых древо-	
стоев по классам возраста	106
Рисунок 13. Средний прирост м <sup>3</sup> /га совокупности сосно-	
вых древостоев II класса бонитета при разных возрастах руб-	
ки в нормальных древостоях	116
Рисунок 14. Оптимальное распределение сосновых дре-	
востоев по группам возраста, %	119
Рисунок 15. Поглощающая способность СО <sub>2</sub> лесами в раз-	
витых странах мира, т/га	142
Рисунок 16. Комплексный подход к устойчивому лесо-	
управлению	143
Рисунок 17. Динамика структуры стоков углерода в дре-	
востое ели	146
Рисунок 18. Политика лесного управления США в усло-	
виях изменения кпимата	155

## 1.4. Перечень основных сокращений, символов, единиц измерения, терминов с их определением

РКИК ООН: Рамочная Конвенция ООН об изменении климата;

КП: Киотский протокол;

**МГЭИК:** Межправительственная группа экспертов об изменении климата;

ПГ: Парниковые газы;

т.у.т.: Тонна условного топлива;

НАН Беларуси: Национальная академия наук Беларуси;

**ЗИЗЛХ:** Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство;

СМИ: Средства массовой информации;

НПО: Неправительственные организации;

**ЗКС:** Посадочный материал – сеянцы с закрытой корневой системой;

ГЛХУ: Государственное лесохозяйственное учреждение;

**ГПЛХО:** Государственное производственное лесохозяйственное объединение;

**БГТУ:** Белорусский государственный технологический университет;

**Минлесхоз:** Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь;

ГЛР: Государственный лесной реестр;

ГИС: Географическая информационная система;

ГУЛФ: Государственный учет лесного фонда;

**ЕЭК ФАО ООН:** Европейский экономический комитет Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН;

КУБ: Коэффициент увеличения биомассы;

РОБУЛ: Региональная оценка бюджета углерода лесов;

**УГЛУ:** Уральский государственный лесотехнический университет;

**CBM-CFS:** Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector;

**EFIMOD:** Discrete Lattice Ecosystem Simulator;

FCA: Full Carbon Account;

**FORCARB2:** Бюджетная модель локального пространственного уровня;

**IIASA:** International Institute for Applied Systems Analysis;

**NFC-MARS:** National Forest Carbon Monitoring, Accounting and Reporting System;

**NPP:** Чистая первичная продукция;

ЕС: Европейский союз;

ООН: Организация Объединенных Наций;

ООПТ: Особо охраняемые природные территории;

БАВ: Биологически активные вещества;

П: Пылезадержание;

 $Z_{\mathrm{M}_{\mathrm{cne}}}$ : Текущий прирост по запасу;

 $\mathbf{Z}_{ ext{M}}^{ ext{ сред}}$ : Средний прирост по запасу;

К<sub>э</sub>: Коэффициент экологической эффективности древостоя;

 $N_2O$  – закись азота;

 $\mathbf{C}$  – углерод;

 ${\bf CO_2}$  – диоксид углерода, углекислый газ;

 $CH_4$  – метан;

 ${f CV}$  — доля углерода  ${f C}$  в компонентах насаждения, приходящаяся на единицу запаса стволовой древесины,  ${f TC/m}^3$ ;

 $O_2$  – атмосферный кислород;

**га** – гектар;

 $\Gamma$  –  $\Gamma$ pamm;

**К** $\Gamma$  –  $10^3$   $\Gamma$ , килограмм;

**М**г –  $10^6$  г, мегаграмм, тонна;

 $\tau$  – тонна,  $10^6$  г, мегаграмм;

 $\Gamma\Gamma - 10^9$  г, гигаграмм,  $10^3$  т, тыс. т;

 $T_{\Gamma} - 10^{12}$  г, тераграмм,  $10^6$  т, млн. т;

 $\Pi \Gamma - 10^{15} \Gamma$ , петаграмм,  $10^9 T$ , млрд. Т;

Р – средняя полнота насаждений лесного фонда;

**абсорбция**  $CO_2$ : Поглощение углекислого газа из атмосферного воздуха,  $TCO_2$ ;

**бюджет углерода лесного фонда:** Совокупность информации о запасах и потоках углерода в лесном фонде;

валежник (валеж, валежный лес): Упавшие на землю в лесу стволы деревьев или их части: сучья, ветви, сухие и гниющие. Сломленный ветром (бурелом), навалом снега и т. п. лес, а также лес срубленный и полуобработанный, но не вывезенный и брошенный (часто как забракованный);

**годичная абсорбция углекислого газа лесным фондом:** Масса диоксида углерода, связанного в годичном приросте фи-

томассы, мертвой фитомассы и органическом углероде почвы одним гектаром земель лесного фонда. Определяется как разность между объемом усвоения атмосферного  $CO_2$  при фотосинтезе растений лесного фонда ("суммарный фотосинтез"), с одной стороны, и суммарной эмиссией  $CO_2$ , с другой стороны, как результат дыхания растений, "почвенного дыхания", заготовки (вывозки) древесины, лесных пожаров, гибели лесов в очагах вредителей и болезней леса и сжигания порубочных остатков на лесосеках,  $\tau CO_2/\tau a/\tau o g$ ;

**"карбоновые леса":** Произрастающие или создаваемые леса, выведенные из хозяйственного использования на длительный период в целях депонирования углерода в их фитомассе;

**класс бонитета:** Показатель потенциальной продуктивности древостоев;

компоненты лесного фонда в расчетах углеродных потоков: Фитомасса надземная, фитомасса подземная, мертвая фитомасса, органический углерод почвы;

**круговорот углерода в лесном фонде:** Постоянный процесс взаимного поглощения лесными растениями углерода из атмосферы в процессе фотосинтеза с образованием органических веществ, частичного "захоронения" его в фитомассе и почве или последующем возвращении в атмосферу в процессе дыхания растений и минерализации мертвой фитомассы лесного фонда;

**лесной фонд:** Земли, предназначенные для организации и ведения лесного хозяйства;

**лесные земли:** Земли, входящие в состав лесного фонда и предназначенные для выращивания леса;

**лесистость территории:** Процент земель, покрытых лесом от общей площади рассматриваемой территории;

**малый биологический круговорот лесов:** Совокупность процессов поступления веществ из почвы и атмосферы в лесные растения, возвращение веществ из живых организмов в почву и атмосферу, и превращение их в доступные для лесных растений соединения;

**мертвая фитомасса лесного фонда:** Общее количество органического вещества на землях лесного фонда, содержащегося в лесной подстилке, сухостое, валеже, отмерших / опавших ветвях и отмерших корнях и пнях деревьев, подлеска и живого напочвенного покрова;

молодняки: Древостои 1 и 2 классов возраста;

**нелесные земли:** Земли, входящие в состав лесного фонда, но не предназначенные для выращивания леса;

**нетто-поток углерода:** Обмен углерода между наземными экосистемами и атмосферой;

**нормальное насаждение:** Насаждение, которое при данных форме, породе, возрасте и условиях местопроизрастания является наиболее совершенным (М.М. Орлов). Насаждение с относительной полнотой 1,0;

**общее изменение депонированного лесным фондом углерода:** Разность между общим углеродом лесного фонда года текущего и предыдущего, тС/год;

**органический углерод почвы:** Содержание углерода в верхнем 30-сантиметровом слое песчаных, супесчаных и суглинистых почв и на всю глубину залегания торфяного слоя избыточно увлажненных оторфованных и торфяно-болотных почв, тС;

Парижское соглашение: Соглашение, принятое в г. Париже 12 декабря 2015 года на 21-й сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, подписанное 22 апреля 2016 года;

парниковые газы: Газообразные составляющие атмосферы природного или антропогенного происхождения, которые поглощают и переизлучают инфракрасное излучение. Предположительно вызывают глобальный парниковый эффект;

**парниковый эффект:** Повышение температуры нижних слоев атмосферы планеты по сравнению с эффективной температурой, то есть температурой теплового излучения планеты, наблюдаемого из космоса;

**перестойные древостои:** Древостои старше класса возраста, где установлен возраст рубки;

**приспевающие:** Класс возраста, предшествующий возрасту спелых древостоев;

**пул углерода:** Количество углерода, связанного в процессе "стока-эмиссии" углекислого газа лесным фондом или его компонентами, эквивалент тС или тСО<sub>2</sub>;

секвестрация почвенного углерода лесами: Процесс вывода органического углерода лесами из сферы малого биологического круговорота на его длительное сохранение в виде почвенного гумуса или торфа;

**средневозрастные древостои:** Древостои в возрасте после молодняков и до приспевающих насаждениях (в эксплуатационных лесах 3 класс возраста, в лесах других категорий – 3 и 4 классы возраста);

**спелые древостои:** Класс возраста древостоев, который определен как возраст рубки;

**спелость леса:** Возраст древостоя, при котором наблюдается максимальный средний прирост исследуемого показателя;

**среднее** депонирование углерода: Количество углерода, связанного одним гектаром лесного фонда или его компонентами (фитомассой, мертвой фитомассой, почвой и др.), тС/га;

**среднее изменение депонирования углерода лесным фон- дом:** Разность между средним депонированием углерода года текущего и предыдущего, тС/га/год;

**сток (поглощение, абсорбция)**  $CO_2$ : Поглощение из атмосферы диоксида углерода (углекислого газа) при фотосинтезе зеленых растений, в том числе растениями лесного фонда,  $\tau CO_2$ ;

**углерод лесного фонда общий:** Общее содержание углерода в лесном фонде, тС;

**текущий прирост:** Увеличение некоторого показателя за n лет с учетом отпада (O):  $Z_{\rm M}^{\rm Tek} = M_A - M_{A-n} + O_n$ ;

углерод мертвой фитомассы лесного фонда: Содержание углерода в лесной подстилке, сухостое, валеже, отмерших / опавших ветвях и отмерших корнях и пнях деревьев / подлеска и живого напочвенного покрова, тС;

**углерод фитомассы лесного фонда:** Содержание углерода в надземной и подземной фитомассе лесного фонда, тС;

**углеродная квота:** Высоко регулируемое средство расчета, используемое для компенсирования или нейтрализации выбросов углекислого газа CO<sub>2</sub>. Одна квота на выброс углерода представляет собой право на выброс одной тонны двуокиси углерода или эквивалентной массы другого парникового газа;

углеродный кредит: Все виды сокращений выбросов парниковых газов в результате проектных решений. 1 углеродный кредит (карбон кредит) = 1 тонне выбросов  $CO_2$  (углекислого газа);

условно подвижный органический углерод лесного фонда: Количество углерода в слое 0–10 см почвы земель лесного фонда;

условно стабильный органический углерод лесного фонда: Количество углерода в слое почве на глубине 10–30 см земель лесного фонда;

фитомасса лесного фонда надземная: Общее количество живого органического вещества растений, накопленное к данному моменту в древостое, подросте и подлеске насаждений, а также живом напочвенном покрове лесных и нелесных земель лесного фонда;

фитомасса лесного фонда подземная: Общее количество органического вещества живых растений, накопленное к данному моменту в корнях, корневищах, клубнях, луковицах и т.п.: деревьев, подроста и подлеска насаждений, а также живого напочвенного покрова лесных и нелесных земель лесного фонда.

## МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

# 2.1. Анализ существующих в мире методик, инструментов, технологий сбора информации для определения уровня абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота)

Необходимость достижения главной цели Рамочной конвенции ООН об изменении климата, т. е. стабилизации концентрации парниковых газов на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему послужила основой для прикладных научных исследований, направленных на разработку методики учета выбросов и поглощения экосистемами парниковых газов из атмосферы, позволяющей сделать расчет запасов углерода в различных пулах и их динамике во времени.

Наиболее объективная информация может быть получена при непосредственных измерениях потоков  $\mathrm{CO}_2$  и углеродного обмена между атмосферой и экосистемой, для чего разработан и применяется микрометеорологический метод микровихревых пульсаций (eddy covariance), основанный на измерении концентраций и потоков углекислого и прочих парниковых газов вдоль вертикального профиля экосистем [1]. Данный метод предполагает применение специального дорогостоящего оборудования (мачт с комплексом газоанализаторов), а достоверность полученных результатов может быть достигнута лишь в результате большого объема натурных наблюдений. Как отмечают ряд экспертов, в настоящее время накопленные экспериментальные данные недостаточны для региональной оценки углеродного обмена и, применяя данный метод, не представляется возможным измерить ни содержание угле-

рода, ни уровень углеродного обмена между экосистемой и атмосферой за исключением отдельных участков и ограниченных временных рамок [2, 3].

Иные методики основаны на проведении балансовых расчетов углеродных потоков. В частности методика МГЭИК предусматривает ведение расчетов по пяти крупным резервуарам углерода (пулам), к которым относятся надземная фитомасса, подземная фитомасса, сухостойная и валежная древесина, подстилка и органическое вещество почвы [4]. При этом считается, что поток углерода в атмосферу или из нее равен изменениям в запасах углерода в существующей биомассе и почве, а изменения в запасах углерода связаны с темпами трансформации землепользования и хозяйственной деятельности. После проведения оценки отдельных пулов осуществляется расчет суммарного значения увеличений или уменьшений накопления углерода в пяти пулах. Любое результирующее уменьшение в накоплениях углерода преобразуется в эквивалент выброса CO<sub>2</sub>.

При оценке депонируемого в фитомассе углерода широко используются выявленные взаимосвязи между различными фракциями древесной фитомассы. Оценка запасов фитомассы осуществляется с использованием данных учета лесного фонда в сочетании с моделями таблиц хода роста и регрессионных зависимостей фитомассы от лесотаксационных показателей. При расчете депонирования углерода различными компонентами лесной экосистемы используются конверсионные коэффициенты [5–7].

В сводном отчете о лесных ресурсах, подготовленных Европейской экономической комиссией ЕЭК ФАО ООН [8], в последующем известном как методика МГЭИК (2003 г.), углеродному балансу в лесах посвящена специальная глава, в том числе специалистами ЕЭК выполнены расчеты по лесам Беларуси. Исходными посылками для балансовых расчетов углеродных потоков в лесах по методике ЕЭК ФАО ООН приняты следующие:

- 1. Признание того, что леса обладают значительным потенциалом, чтобы оказать существенное воздействие на величину и направление потоков углерода в глобальном углеродном круговороте. В частности, отмечается, что леса сегодня связывают углерод в количестве около 60 % депонированного растительностью и около 50 % почвами планеты.
- 2. Увеличение фитомассы лесной экосистемы приводит к нетто-потоку (net flux) углерода от атмосферы в лес и соответственно

его стоку из атмосферы. Уменьшение фитомассы изменяет направление нетто-потока на противоположное и приводит к притоку атмосферного углерода.

- 3. Лесная статистика располагает относительно достоверными данными по древесным запасам. В отдельных случаях можно получить данные о запасе или массе корней, ветвей, вегетативных органов, других компонентов (травяно-мохово-кустарничковый ярус, подрост) лесной экосистемы.
- 4. Для расчета углеродных балансов потребуется преобразование запасов (массы) стволовой древесины и других частей фитомассы в сухое органическое вещество с определением в нем углерода. В расчетах ЕЭК ФАО ООН содержание углерода (С) в сухой фитомассе лесной экосистемы принималось равным 50%.
- 5. Для определения сухой массы в расчетах ЕЭК ФАО ООН приняты следующие соотношения: плотность стволовой древесины хвойных насаждений равно  $0.52 \text{ т/m}^3$  (т. е. масса в сухом состоянии  $1 \text{ м}^3$  древесины равна 520 кг) и лиственных  $-0.66 \text{ т/m}^3$ ; корней, включая пень,  $-0.12 \text{ т/m}^3$ .

Углеродный баланс лесов рассчитывается таким образом. Сначала определяется, пользуясь таксационной терминологией, текущее изменение древесного запаса как разность между годичным приростом (первичная нетто-продукция («net primary productivity» NPP) и суммой годичного древесинопользования (рубки), естественного отпада и прочих потерь древесины (гибель насаждений, пожары и др.). Затем определяются другие части древостоя, их масса в сухом состоянии и содержание углерода, пользуясь вышеуказанными коэффициентами.

В Руководящих принципах МГЭИК [4] излагаются методологии для оценки изменений накопления углерода в двух основных пулах углерода: биомассе и органическом углероде почвы, В них упоминается мертвое органическое вещество как фактор, который следует учитывать в будущей работе по методам составления кадастров. В Марракешских договоренностях конкретно указывается, что должна представляться информация об изменениях накопления углерода в пяти пулах: надземная биомасса, подземная биомасса, подстилка, валежная древесина и органический углерод почвы. Уменьшения объема в одном пуле должны компенсироваться увеличениями в другом пуле, например, пулы биомассы уменьшаются после возмущений, однако пулы подстилки и ва-

лежной древесины могут увеличиться. Таким образом, изменение в рамках одного пула может быть более значительным по сравнению с результирующим изменением в совокупности пулов.

После проведения оценки отдельных пулов и сообщения информации о них по конкретной территории осуществляется расчет суммарного значения увеличений или уменьшений накопления углерода в пяти пулах. Любое результирующее уменьшение в накоплениях углерода преобразуется в эквивалент выброса СО2; в информационных таблицах, и о любом результирующем увеличении сообщается в виде эквивалента абсорбции СО2. Изменения накопления углерода преобразуются в выбросы и абсорбцию СО2 путем умножения результирующего изменения накопления углерода на 44/12 (стехиометрическое соотношение СО<sub>2</sub> и углерода) и преобразования знака: уменьшение накопления углерода (отрицательный знак) ведет к выбросу в атмосферу, а увеличение (положительный знак) – к абсорбции. Углерод, хранящийся в заготовленных лесоматериалах, не включается в представляемую информацию, поскольку он не фигурирует в качестве пула, охватываемого Марракешскими договоренностями.

В Российской Федерации, при учете бюджета углерода в лесах (FCA) [9] используется база данных IIASA, которая состоит из комплексной ГИС, содержащей характеристики лесов, земель и компонентов природной среды Российской Федерации. Учет бюджета углерода включает все углеродные компоненты, связанные со всеми наземными экосистемами. Разработка FCA имеет в своей основе гипотезу глобального потепления климата в результате усиления парникового эффекта. В данной методике глобальный углеродный баланс представлен как сумма вкладов крупных источников и поглотителей углерода за определенный период времени. При этом в FCA учитываются главным образом компоненты суши. Основными резервуарами углерода считаются почва, наземная растительность в целом, леса, водно-болотные угодья, луга, кустарниковые заросли, крупные древесные остатки, скрытые землей мертвые растительные остатки, сельскохозяйственная и лесная продукция. Для оценки депонирования углерода по данной методике используются данные государственного учета лесного фонда в совокупности с системой моделей роста и продуктивности лесов России. В отношении покрытых лесной растительностью земель России рассчитывается показатель, названный чистым экосистемным углеродным балансом, представляющий собой полный верифицированный углеродный бюджет лесов за определенный период [10].

Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской Академии Наук разработана методика региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) [11]. В данной методике информационным источником, в наибольшей мере отвечающим задаче оценки бюджета углерода лесов на региональном уровне, являются материалы Государственного лесного реестра Российской Федерации (ГЛР). Так как территория России охватывает различные природные зоны и углеродные параметры лесов существенно варьируют в зональном и региональном отношении при оценке использован принцип зонально-провинциального деления территории России с выделением макрорегионов [12].

Расчет углерода надземной фитомассы древостоя осуществляется через приводимые в материалах ГЛР объемные запасы древесины насаждений и конверсионные коэффициенты, представляющие собой отношения запаса углерода надземной фитомассы к запасу стволовой древесины. В качестве базовой использована система конверсионных коэффициентов, определенных для преобладающих древесных пород в разрезе групп возраста. Конверсионные коэффициенты имеют размерность физической плотности (тС/м<sup>3</sup>) и позволяют рассчитывать всю надземную фитомассу (включая стволы, ветви, хвою и листву) по определяемому в хозяйственных целях объемному запасу древесины. Расчет запасов углерода подстилки проводится по данным о площадях насаждений той или иной преобладающей породы и средним на единицу площади значениям запаса, специфичными для зонально-региональных полигонов. Расчет запасов углерода почвы аналогичен таковому для подстилки, однако приводится по эталонным средним значениям органического углерода почвы в слое 0–30 см.

Расчет запаса углерода производится для следующих пулов: надземная и полная фитомасса древостоев, мертвая древесина (валеж и сухостой), подстилка, верхний 30-см слой почвы. Затем производится суммирование запасов углерода по группам возраста с получением общего значения для преобладающей породы, а в дальнейшем и для территориального объекта.

На основе оценки значений пулов углерода по возрастным группам лесных насаждений производится расчет потоков углеро-

да (в методике используется термин «абсорбция углерода»). Сначала с использованием уравнений рассчитываются средние на единицу площади значения запасов углерода фитомассы в последовательных возрастных группах. Далее, с использованием информации по временным интервалам пребывания насаждений в данной возрастной группе, оценивается средняя годичная абсорбция углерода пулом фитомассы в данной группе. Суммарное значение абсорбции углерода пулом фитомассы в данной возрастной группе преобладающей породы считается равной произведению среднего годичного значения на соответствующую площадь. Абсорбция углерода пулом фитомассы в наиболее старшей возрастной группе (перестойные) принимается равной нулю.

В Канаде для расчета запасов и баланса углерода для лесов всей страны и отдельным провинциям используется модель бюджета углерода канадского лесного сектора (методика CBM-CFS), являющаяся ключевым компонентом Национальной системы мониторинга и отчетности углерода (NFC-MARS) [13, 14]. Условно данный метод можно назвать «одна инвентаризация + изменения, вызванные абиотическими, биотическими факторами и деятельностью человека» [2]. В основе расчетов лежат данные инвентаризации лесов, собранные на пробных площадях.

В настоящее время используется модель CBM-CFS3 в которой реализован подход, соответствующий методологическому уровню 3 Руководящих указаний МГЭИК по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства [4]. Методика, лежащая в основе модели основана на моделировании динамики запасов углерода в надземной и поземной фитомассе, мертвом органическом веществе, включая почвы, и позволяет отслеживать миграцию потоков углерода на уровне ландшафта и региона. Модель CBM-CFS3 имитирует ежегодные изменения накопления углерода в отдельно взятом насаждении и углеродном пуле, которые происходят в результате роста древостоя, опада, отпада, переноса органического вещества и разложения подстилки. Модель отслеживает 10 пулов фракций биомассы и 11 пулов мертвого органического вещества. С целью пересчета запаса стволовой древесины в надземные фракции фитомассы в модели использованы уравнения, разработанные для всех типов лесных насаждений Канады [15]. Скорость миграции органического вещества и величина потоков углерода из-за опада, естественного отпада, разложения подстилки и переноса в один или несколько пулов мертвого органического вещества оценивается при помощи набора коэффициентов, которые определяются на основе анализа процентного соотношения фракций надземной и подземной фитомассы, ежегодно пополняющих пул мертвого органического вещества.

Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения (Россия) при поддержке Европейского института леса (Финляндия) для описания роста деревьев (насаждений) и биологического круговорота элементов (пула углерода и азота) в бореальных и умеренных лесных экосистемах на локальном уровне была разработана имитационная компьютерная модель EFIMOD 2 [16]. EFIMOD 2 позволяет проводить краткосрочное и долгосрочное моделирование динамики естественных и управляемых лесных экосистем в широком диапазоне лесных участков, климатических условий и лесоводственных режимов. Модель эффективна для оценки производительности насаждения в зависимости от положения деревьев, влияния климата и почвы, а также оценки режимов управления лесами в соответствии с критериями и показателями устойчивого лесопользования.

EFIMOD 2 системы «лес-почва» состоит из 4-х составляющих (моделей):

- 1) модели ежегодного прироста биомассы отдельного дерева (в основу модели заложены экспериментальные данные исследования биологической продуктивности сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), ели европейской (Picea abies L. Karst) и березы повислой (Betula pendula L.) в российских бореальных лесах);
- 2) индивидуально ориентированной пространственной модели древостоя, состоящего из отдельных деревьев (рост моделируется в зависимости от положения дерева внутри насаждения и доступа локального света, воды и питательных веществ (конкуренция между деревьями за экологические факторы));
- 3) модели динамики органического вещества почвы ROMUL (используется для оценки динамики органических веществ и доступности азота для роста деревьев в зависимости от температуры и влажности почвы, качества (структуры) лесной подстилки) [17];
- 4) специальный почвенный климатический генератор SCLISS (предоставляет необходимые ежемесячные метеорологические данные для воздуха и почвы).

В качестве входных параметров (данных) системе необходимы стандартные данные инвентаризации леса, такие как:

- видовой состав древостоя на лесотаксационном выделе,
- возраст,
- средние высота ствола и диаметр на высоте 1,3 м для каждого элемента леса,
  - число деревьев на 1 га,
  - характеристики пулов органического вещества почвы.

Американская компьютерная бюджетная модель локального пространственного уровня (U.S. FORest CARBon Budget Model (FORCARB2)) была разработана для лесов США и предназначена для подсчета запасов углерода и прогноза изменения запасов для лесных экосистем и лесных товаров с 5-летними интервалами [18].

Оценка накопленных запасов углерода моделью FORCARB2 осуществляется с учетом следующих параметров (пулов):

- площади лесов, а именно, площади государственных лесных земель, заповедных лесных земель и лесных земель с низкой производительностью (если площадь лесов постоянна, учитывается вероятность перераспределения углерода в компонентах лесной экосистемы на этой площади, например, в связи с ростом и развитием деревьев, смертности или удаления деревьев в результате лесопользования (лесозаготовок)). Основными накопителями углерода в лесу являются деревья (их надземная и подземная части), сухостой, мертвая древесина (валежная), лесная подстилка и почва. Используются данные инвентаризации лесов, собранные на пробных площадях.
- заготавливаемых древесных продуктов (HWP). Распределение углерода в продуктах из заготовленной древесины оценивается по четырем категориям с течением времени:
- 1) используемые продукты (включают конечные продукты, такие как древесина, используемая в домах и других зданиях, деревянная мебель, деревянные контейнеры и бумажные изделия),
- 2) мусор (предполагается, что углерод на свалках будет депонирован на долгосрочную перспективу с медленными темпами распада),
- 3) углерод в древесине, сжигаемой для энергии (в основном состоит из утилизации заготовленных побочных продуктов древесины, связанных с переработкой на мельницах, но также включает древесину, сжигаемую на коммунальных предприятиях, для про-

изводства электроэнергии, а также древесину, сжигаемую непосредственно для отопления),

4) выброс углерода без захвата энергии (включает остатки мельницы или другие древесные продукты, сжигаемые или разлагающиеся без захвата и использования выделяемого тепла).

Российская математическая имитационная модель FORRUS-S (FORest of RUSsia — Stand) предназначена для прогнозирования динамики таксационных характеристик разновозрастных многовидовых насаждений на площади до нескольких десятков тысяч гектар (т. е. на локальном или региональном пространственном уровне) на 5-летний период [19]. Модель описывает динамику лесотаксационных показателей (видовой состав и продуктивность древостоев при сукцессионных сменах) во времени и может быть использована для оценки динамики углеродного баланса, а не его подсчета, без учета углерода почвы. Модель относится к классу эколого-физиологических, имитирующих процессы рождения, роста и гибели особей.

Модель FORRUS-S состоит из 4 блоков:

- входные данные и параметры модели (стандартные таксационные описания выделов, планы лесных насаждений, базы биоэкологических данных и др.);
  - сервисные программы;
- моделирование (состоит из модели «естественного развития (которая включает 4 субмодели: «свет», «прирост», «изреживание», «возобновление»)» и модели «экзогенного развития»);
  - выходные данные.

Научным коллективом Уральского государственного лесотехнического университета (Россия) для оценки биопродуктивности древостоев была разработана «Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода». В ходе полевых работ на пробных площадях отбирают модельные деревья, разделяют на фракции: древесину ствола, кору, листву (хвою), древесину ветвей, кору ветвей, корни, взвешивают фитомассу, сушат образцы, исключая из них воду. Это – трудоемкий учетный метод, позволяющий затем пересчитать все надземные и подземные фракции фитомассы, полученные на пробной площади, на уровень лесотаксационного выдела. Проведенные измерения фитомассы дают возможность оценить чистую первичную продукцию разных фракций.

Научным коллективом УГЛТУ под руководством В.А. Усольцева составлена и опубликована наиболее представительная база данных продукционных характеристик лесных насаждений Северной Евразии, которая насчитывает 8 тыс. записей по фитомассе и 1,2 тыс. записей по чистой первичной продукции (NPP) [20, 21]. Эта информация, дополненная данными государственного учета лесного фонда (ГУЛФ), использована для формирования системы оценки фитомассы и NPP в лесах. Первоначально были определены модели, описывающие зависимость фитомассы каждой фракции (стволы в коре, кора ствола, ветви, хвоя, корни, нижние ярусы) от возраста и запаса насаждения с дифференциацией по древесным породам и классам возраста. Для чистой первичной продукции (В.А. Усольцев отождествляет ее с депонированием углерода лесами) найден набор функций от логарифма фракций фитомассы. Полученные уравнения применены для расчета фитомассы и чистой первичной продукции по данным ГУЛФ по лесохозяйственным предприятиям - лесхозам (в современной структуре лесоуправления преобразованы в лесничества).

Для оцениваемых лесхозов сформированы таблицы-матрицы распределений лесопокрытой площади и запаса стволовой древесины по лесообразующим породам и классам возраста. С учетом возраста рубки с целью заготовки древесины, назначенной лесоустройством по каждой породе, группы возраста переведены в классы возраста. Путем табулирования моделей по объемному запасу древесины и возрасту насаждений каждой ячейки таблицматриц по лесхозам сначала оценивали запасы фитомассы на единицу площади, затем умножая их на лесопокрытую площадь, соответствующую каждой ячейке, рассчитывали запасы фитомассы для всей площади. Суммирование результатов по классам возраста дает итоговые запасы фитомассы по каждой фракции отдельно для каждой породы, а дальнейшее суммирование последних по фракциям и породам позволяет получить итоговые запасы фитомассы для всей площади отдельного лесхоза. Алгоритм совмещения моделей чистой первичной продукции (NPP) с матрицами данных по лесхозам аналогичен таковому для фитомассы с той лишь разницей, что при табулировании моделей в них подставляются величины не только возраста и запаса стволовой древесины, но и найденные ранее величины массы хвои, корней и нижних ярусов. Определение и картирование депонируемого лесами углерода может

быть осуществлено с помощью программы СУБД ADABAS и редактора приложений к ней Natural [2].

Оценка бюджета углерода лесов данной информационной системой не предусматривается, так как рассчитывается только приходная часть бюджета — чистая первичная продукция.

Отдельную важную проблему составляет разработка методики определения массы и интенсивности накопления углерода лесоболотными и болотными экосистемами. Очевидно, что в силу медленной минерализации отмерших растений и их частей в условиях избытка влаги в почвенном профиле будет происходить долгосрочная консервация углерода. При этом наиболее интенсивно данный процесс будет протекать в болотах низинного типа.

В Республике Беларусь оценка запасов торфа торфяных месторождений, запасов воды и углерода в болотах производится в соответствии с ТКП 17.12-08-2015 (33140) «Определение направлений использования торфяных месторождений и болот» [22]. Согласно данной методике запасы углерода в болотах рассчитываются по формуле (2.1):

$$\mathbf{M}_{\text{VEJI}} = \mathbf{P} \times \mathbf{K}_{\mathbf{w}} \times \mathbf{K}_{\mathbf{A}} \times \mathbf{K}_{\mathbf{C}}, \tag{2.1}$$

где  $M_{yгл}$  – масса углерода, тыс. т;

Р – запасы торфа болот при условной влаге торфа 40% тыс. т;

 $K_{\rm w}$  – коэффициент пересчета массы торфа условной влаги 40% на абсолютно сухое вещество, равный 0,6;

 $K_A$  — коэффициент зольности, равный в среднем: для верхового торфа 0,963; для низинного торфа 0,88; для смешанного и переходного торфа 0,922;

 $K_C$  — коэффициент, учитывающий содержание углерода в абсолютно сухом веществе торфа, равный в среднем: для верхового торфа 0,556; для низинного торфа 0,585; для смешанного и переходного торфа 0,571.

При выборе оптимальной методики определения уровня абсорбции парниковых газов для условий Республики Беларусь необходимо учитывать преимущества и недостатки существующих в настоящее время методик, а также то, в какой степени применение той или иной методики в условиях Республики Беларусь позволит получить объективную информацию.

В лесах Республики Беларусь с 10-летней периодичностью проводится базовое лесоустройство по І разряду. Ежегодно вно-

сятся текущие изменения и обновляется повыдельный банк данных «Лесной фонд Республики Беларусь». Каждые пять лет выполняется Государственный учет лесного фонда, ежегодно составляется Государственный лесной кадастр Республики Беларусь. Таким образом, наиболее объективным и целесообразным является расчет углеродных бюджетов в лесах с использованием запасов насаждений (запасов стволовой древесины), определяемых по материалам учета лесного фонда.

В настоящее время в Республике Беларусь для расчета общего депонирования углерода и годичных потоков «стока-эмиссии» углекислого газа лесами при проведении национальной инвентаризации парниковых газов детально разработана и используется «Методика оценки годичных потоков «стока-эмиссии углекислого газа и общего депонирования углерода лесами Республики Беларусь» [23]. Данная методика адаптирована с руководящими указаниями по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства МГЭИК (2003), поэтому ее использование представляется нами наиболее целесообразным.

Для расчета депонирования углерода фитомассой применяется рекомендованное МГЭИК уравнение (2.2 и 2.3), в основу которого положен «метод расчета по изменению запаса»:

$$C = V \cdot \coprod \cdot BEF_2 \cdot (1+R) \cdot CF, \tag{2.2}$$

$$\Delta C_{\text{FFLB}} = (C_{t2} - C_{t1}) / (t2 - t1),$$
 (2.3)

где  $C_{t2}$  и  $C_{t1}$  – общее количество углерода в фитомассе лесных насаждений, подсчитанные в момент времени соответственно t2 и t1, тС;

V – общий запас насаждений по материалам государственного учета лесного фонда (или Лесного кадастра) Республики Беларусь, м<sup>3</sup>;

 ${\rm BEF_2- \kappa o}$  фонциент фитомассы для перевода общего запаса насаждений (т. е. объема стволовой древесины) в величину фитомассы всех компонентов надземной части древостоя, безразмерная величина;

Д — объемно-взвешенная средняя плотность древесины, тонны абсолютно сухой древесины,  $T/M^3$ ;

R – соотношение массы корней, включая пень, и стволовой древесины, безразмерная величина;

СF – доля углерода в сухом веществе;

 $\Delta C_{FFLB}$  — годичное изменение в углеродных стоках на покрытых лесом землях, тонны C в год.

Данные о плотности древесины можно получить из местных источников. Доля углерода в сухой фитомассе, при отсутствии местных данных, методикой МГЭИК (2003) допускается принять равной 0,5. Коэффициенты ВЕF — «коэффициенты разрастания биомассы (отношение объемов ветвей, побегов, листьев, корней к объему стволовой древесины)» — методика МГЭИК рекомендует определять непосредственным способом на пробных площадях или воспользоваться имеющимися ресурсами для выведения местных аллометрических уравнений.

Для расчета депонирования углерода компонентами лесного насаждения, кроме древесной массы, установлены на основе пробных площадей и соответствующих литературных данных коэффициенты перевода от запаса стволовой древесины к запасу (массе) подроста, подлеска, живого напочвенного покрова в насаждениях основных лесообразующих пород, преобладающих типов леса и современной возрастной структуры лесов Беларуси.

Накопление углерода почвы рассчитывалось с использованием уравнения 4.3.3, рекомендованного Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов [24, с. 4, 123].

Для определения массы лесной подстилки и содержания органического углерода в ней использовались материалы повыдельного банка данных «Лесной фонд Республики Беларусь» и данные анализа образцов лесной подстилки, выполненных РУП «Белгослес» на 410 постоянных пунктах учета при проведении мониторинга состояния лесов в 2001–2009 гг.

Сведения о запасах лежащей (валеж) и стоящей (сухостой) древесины отображаются в повыдельном банке данных «Лесной фонд Республики Беларусь». Величины показателей плотности и концентрации углерода для валежной древесины и сухостоя предложены по результатам анализа материалов исследований [25].

Анализ общего депонирования углерода лесами Республики Беларусь целесообразно выполнять в разрезе пулов углерода. Всего выделяется 19 пулов (объединений депонированного углерода).

Пул углерода лесной 19 — общее содержание углерода в лесной экосистеме (углерод фитомассы лесов, органический углерод 30-сантиметрового слоя почвы лесных земель, углерод лесной подстилки и углерод валежной древесины) Республики Беларусь.

Пул 1 – содержание углерода в фитомассе сосновой формации Республики Беларусь.

- Пул 2 содержание углерода в фитомассе еловой формации Республики Беларусь.
- Пул 3 содержание углерода в фитомассе дубовой формации Республики Беларусь.
- Пул 4 содержание углерода в фитомассе березовой формации Республики Беларусь.
- Пул 5 содержание углерода в фитомассе черноольховой формации Республики Беларусь.
- Пул 6 содержание углерода в фитомассе осиновой формации Республики Беларусь.
- Пул 7 содержание углерода в фитомассе прочих формаций Республики Беларусь (лиственничной, грабовой, ясеневой, кленовой, ильмовых, сероольховой, липовой, тополевой, древовидноивовой, яблоневой и проч.).
- Пул 8 содержание углерода в стволовой древесине лесов Республики Беларусь.
- Пул 9 содержание углерода в сучьях и ветвях древостоев Республики Беларусь.
- Пул 10 содержание углерода в хвое или листьях древостоев Республики Беларусь.
- Пул 11 содержание углерода в корнях и пнях древостоев Республики Беларусь.
- Пул 12 содержание углерода в подросте и подлеске лесов Республики Беларусь.
- Пул 13 содержание углерода в живом напочвенном покрове лесов Республики Беларусь.
- Пул 14 общее содержание углерода в фитомассе лесов Республики Беларусь.
- Пул 15 содержание органического углерода в 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Республики Беларусь.
- Пул 16 содержание углерода в лесной подстилке лесов Республики Беларусь.
- Пул 17 содержание углерода в валежной лежащей (валеж) древесине лесов Республики Беларусь.
- Пул 18 содержание углерода в валежной стоящей (сухостой) древесине лесов Республики Беларусь.

При оценке запасов углерода депонированного в болотах целесообразно применять методику, основанную на расчетах, согласно ТКП 17.12-08-2015 (33140) [22].

# 2.2. Использование ГИС «Лесные ресурсы» для расчета абсорбции парниковых газов в лесном фонде Республики Беларусь

Данные о запасах древостоев лесов Беларуси, которые используются в расчетах углеродного бюджета, имеют свои особенности и ограничения [6].

Леса Республики Беларусь подвергаются базовому лесоустройству по I разряду лесоустройства с 10-летней периодичностью. Ежегодно вносятся текущие изменения, и обновляется повыдельный банк данных «Лесной фонд Республики Беларусь». Каждые пять лет выполнялся Государственный учет лесного фонда. Ежегодно составляется Государственный лесной кадастр Республики Беларусь. Это позволяет считать объективно обоснованным ведение расчета углеродных бюджетов в лесах с использованием запасов насаждений (т. е. запасов стволовой древесины), определяемых по материалам учета лесного фонда и (или) лесного кадастра Республики Беларусь.

В основе Государственного лесного кадастра (ГЛК) лежат материалы лесоустроительных проектов. В ГЛК есть сведения по всем древесным породам, их возрастной структуре, средних таксационных показателях, объемах древесины для каждого органа государственного управления, в ведении которых находятся леса. Точность таксации обусловливает качество лесоустроительного проектирования. Требования к точности работ определяются Лесным кодексом и задачами, решаемыми органами управления лесным хозяйством, регламентируются нормами предельно допустимых ошибок определения таксационных показателей и заданным уровнем достоверности [39, 40].

В зависимости от категории насаждений установлены нормативы точности определения таксационных показателей согласно [40].

Так как основной объем углерода депонирован в фитомассе лесных насаждений, увеличение точности определения абсорбции парниковых газов в первую очередь зависит от точности определения запаса стволовой древесины.

Допустимая случайная ошибка определения среднего запас на 1 га составляет  $\pm 15-20\%$ . Так как расчет углеродного бюджета в белорусских лесах производится с использованием запасов насаждений (т. е. запасов стволовой древесины), определяемых по мате-

риалам учета лесного фонда и лесного кадастра, данное значение допустимой случайной ошибки переносится и на показатель углеродного бюджета, то есть допустимая случайная ошибка при расчете абсорбции парниковых газов может составлять  $\pm 15-20\%$ .

Увеличение точности определения углеродного бюджета напрямую связано с точностью таксации. Большое значение для получения достоверных данных о лесных ресурсах имеет разработка новых, более совершенных методов и средств наземной таксации на основе последних достижений научно-технического прогресса.

Важным для более точного определения углерода в компонентах насаждения является увеличение точности определения коэффициентов соотношения массы в сухом состоянии отдельных фракций древостоя (стволовая древесина, сучья и ветви, хвоя и листья, корни и пни), а также отдельных компонентов лесного насаждения (подрост и подлесок, живой напочвенный покров), приходящейся на 1 м<sup>3</sup> стволовой древесины. Для уточнения данного показателя необходимы полевые исследования на пробных площадях в разрезе лесообразующих древесных видов в различных лесорастительных условиях. Целесообразно более детальное обследование лесных земель по различным сериям типов леса с составлением подробных почвенных карт и картограмм, отражающих важнейшие показатели почв. Данные по массе лесной подстилки в сухом состоянии, приходящейся на 1 м<sup>3</sup> стволовой древесины, также требуют уточнения при проведении полевых исследований в разрезе лесных формаций. Для уточнения объема валежа и сухостоя в лесах Беларуси необходима закладка пробных площадей в различных лесорастительных условиях.

Для пространственной привязки расчета абсорбции парниковых газов участками лесного фонда на основании Методики [6] можно использовать разработанную в Беларуси единую многоуровневую географическую информационную систему (ГИС) лесного хозяйства.

Первая ГИС «Лесные ресурсы» разработана в Беларуси в 1992—1995 годах. Начиная с 1995 г. ГИС «Лесные ресурсы» постепенно внедрялась в лесном хозяйстве. В 2000—2002 годах специалистами РУП «Белгослес» и РУП «Белгеодезия» была разработана технология автоматизированного формирования точных плановокартографических лесоустроительных материалов. В 2013 г было завершено создание цифровых карт для всех лесхозов Республики

Беларусь. Цифровые модели территорий объединяют цифровую картографическую и таксационную информацию на территорию объекта.

Преимуществами данной технологии являются:

- четкая привязка лесных объектов к геодезической основе;
- абсолютная точность совмещения границ лесохозяйственных предприятий со смежными землепользователями и между собой;
- совместимость лесных электронных карт с электронными картами других ведомств и землепользователей;
- возможность построения тематических карт любого масштаба и содержания.

Четкая привязка лесных объектов к геодезической основе позволяет получать тематические карты на любой участок лесного фонда республики (таксационный выдел, лесной квартал, лесничество, лесохозяйственное учреждение, административно-территориальную единицу, республику в целом).

На основании взаимоувязанных картографической и таксационной баз данных имеется возможность создавать необходимые тематические карты или же получать исходные данные для дальнейших расчетов.

В качестве примера пространственной привязки расчета абсорбции парниковых газов участками лесного фонда рассмотрим расчет накопления углерода одним из участков лесного фонда, например, административно-территориальной единицы Глусский район Могилевской области.

Для оценки запасов биомассы и углерода применим методологическую основу, разработанную Межгосударственной группой экспертов по изменению климата, используемую для глобальной оценки лесных ресурсов.

Согласно указанной выше методике общий запас углерода в лесных экосистемах включает:

- накопление углерода в живой биомассе (выше поверхности земли и ниже поверхности земли);
  - накопление углерода в сухостое и валежной древесине;
  - накопление углерода в лесном опаде;
  - накопление углерода в почве.

Из взаимоувязанной картографической и таксационной баз данных «Лесные ресурсы» получаем исходные данные для дальнейших расчетов требуемых показателей (таблица 1). В нашем

примере для расчета объема биомассы по каждой древесной породе применен национальный комплексный показатель базисной плотности для каждой лесообразующей древесной породы. При необходимости получения более точных результатов ГИС «Лесные ресурсы», а также, разработанные в республике коэффициенты базисной плотности для всех групп возраста, позволяют производить расчеты для каждой древесной породы по группам возраста.

Таблица 1 Расчет запасов биомассы растущих деревьев, сухостоя и валежной древесины

Порода	Запасы древостоя (тыс. м <sup>3</sup> )	Базисная плотность (т/м³)	Биомасса стволов (тыс. т)	Коэффициент увеличения биомассы (КУБ)	Биомасса надземной части (тыс. т)	Соотношение корни/побеги	Биомасса подземной части (тыс. т)					
Биомасса растущих деревьев												
Сосна	11379	0,42	4779	1,35	6452	0,32	2065					
Ель	753	0,40	301	1,35	406	0,32	130					
Дуб	415	0,58	241	1,30	313	0,35	110					
Ясень	36	0,57	21	1,30	27	0,35	9					
Граб	24	0,63	15	1,30	19	0,35	7					
Клен	30	0,52	16	1,30	21	0,35	7					
Береза	1663	0,51	848	1,30	1102	0,26	286					
Осина	143	0,35	50	1,30	65	0,24	16					
Ольха черная	1168	0,45	526	1,30	684	0,26	178					
Прочие породы	1	0,49	1	1,325	1	0,30						
Итого	15612	_	6798	_	9090	_	2808					
Биомасса не жі	ивой дре	весины	(сухостс	я и вале	жной др	евесинь	I)					
Валежная древесина, всего	172	_	86	_	86	_	_					
в т. ч.: сухостой	97	0,50	48	1,00	48	_	_					
захламленность	75	0,50	38	1,00	38	_	_					

Для расчета всей живой биомассы, расположенной над поверхностью земли, включая ствол, пень, ветви, кору, семена и листву применен коэффициент увеличения биомассы (КУБ), рекомендованный Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) для хвойных и лиственных древесных пород (таблица 1).

Для расчета объема живой биомассы, расположенной ниже поверхности земли, также применены коэффициенты соотношения подземной (все живые корни) и надземной частей биомассы, рекомендованные МГЭИК (таблица 1).

Используя взаимоувязанные картографическую и таксационную базы данных определяем общий запас неживой древесины – сухостойной и захламленности (таблица 1). Для пересчета общего запаса не живой древесины в запас биомассы применен коэффициент 0,50 без коэффициента увеличения биомассы.

При пересчете данных о запасах биомассы сухостоя и валежной древесины в данные о запасах углерода в биомассе использовано стандартное глобальное значение доли углерода, составляющее 0,47.

Расчет содержания органического углерода в лесной подстилке (таблица 2) и почве (таблица 3) произведен согласно методике, разработанной в Беларуси [41].

Таблица 2 Накопление органического углерода в почвах лесов

	-	•	-		
Серии типов леса	Пло- щадь, га	Концентрация органического углерода в почве, гС/кг	Объемная плот- ность почвы, г/см <sup>3</sup>	Грубые фрагменты почвы (фракции > 1 мм), %	Накоп- ление углеро- да, т
Вересковая	3081	6,0	0,95	1,05	17377
Брусничная	115	6,2	1,0	1,05	705
Мшистая	20218	9,5	1,10	1,10	208954
Орляковая	7762	11,4	1,20	1,20	104060
Кисличная	7263	16,0	1,30	1,30	146538
Черничная	14136	23,6	1,25	1,20	408672
Долгомошная	4338	293,5	0,30	1,00	381961
Багульниковая	1422	365,8	0,25	_	130042
Осоковая	2091	313,4	0,25	_	163830
Осоково-сфагновая	1793	338,9	0,25	_	151912
Снытевая	691	36,3	1,35	1,50	32169
Крапивная	1685	203,9	0,80	_	274857
Папоротниковая	3072	305,0	0,25	_	234240
Приручейно-травя- ная	2237	349,8	0,25	_	195626
Злаково-пойменная	53	17,1	1,30	_	1178
Итого	69957				2450943

Преобладающая древесная порода (лесная формация)	Запас стволовой древесины, тыс. м <sup>3</sup>	Масса лесной подстилки в сухом состоянии, приходящаяся на 1 м <sup>3</sup> стволовой древесины, т/м <sup>3</sup>	Долевое содержание углерода в сухой массе лесной подстилки	Накопление органиче- ского углерода в лесной подстилке, тыс. т
Сосна	11379	0,100	0,460	523
Ель	753	0,095	0,432	31
Дуб, ясень, граб, клен	505	0,030	0,433	7
Береза	1663	0,010	0,400	7
Ольха (ч)	1168	0,010	0,400	5
Осина	143	0,006	0,500	1
Прочие	1	0,037	0,486	_
Всего	15612			574

Таблица 3 Расчет органического углерода в лесной подстилке

Содержание углерода, объемная плотность почвы и доля грубых фрагментов определены по результатам анализов почвенных образцов, отобранных в лесном фонде Республики Беларусь.

Масса лесной подстилки определена через запас стволовой древесины. Конверсионные коэффициенты долевого содержания углерода в лесной подстилке и массы лесной подстилки, приходящейся на 1 м<sup>3</sup> стволовой древесины определены из литературных источников и материалов пробных площадей, заложенных в лесном фонде республики.

Общее содержание углерода на участке лесного фонда, взятом в качестве примера, составит 8657 тыс. т, в том числе:

- В биомассе надземной части древостоя  $9090 \times 0,47 = 4272$  тыс. т.
  - В биомассе подземной части  $-2808 \times 0.47 = 1320$  тыс. т.
- В биомассе сухостоя и валежной древесины  $-86 \times 0.47 = 40$  тыс. т.
  - В лесной подстилке 574 тыс. т.
  - В лесной почве 2451 тыс. т.

Содержание углерода на 1 га покрытых лесом земель (70290 га) составило 123,2 т, что ниже среднеевропейского уровня (161 т/га по

данным ОЛР, 2010). Отклонение произошло, в основном, за счет содержания углерода в лесных почвах — 35 т/га против 96 т/га. Это объясняется структурой лесных почв в выбранном в качестве примера участке лесного фонда (суходольные типы леса с низким накоплением органического углерода в почве и лесной подстилке занимают более 75 % территории).

Для получения полного объема депонирования углерода участками лесного фонда помимо приведенного расчета требуется дополнительно определить объем поглощенного углерода не покрытыми лесом землями, участками не сомкнувшихся лесных культур и отдельными видами нелесных земель (болота, угодья и др.).

Приведенный пример расчета депонирования углерода не претендует на абсолютную точность. Основной целью приведенного расчета было показать возможность использования картографической и таксационной баз данных ГИС «Лесные ресурсы» для пространственной привязки расчета адсорбции парниковых газов участками лесного фонда.

Объединенная картографическая и таксационная базы данных «Лесные ресурсы» в условиях интенсивного ведения лесного хозяйства имеет существенный недостаток в части согласования данных. Полностью согласованными между собой обе базы данных являются только на момент обновления их по результатам базового лесоустройства, проводимого один раз в десять лет.

В дальнейшем таксационная база данных ежегодно обновляется путем внесения текущих изменений по результатам хозяйственной деятельности лесохозяйственных учреждений. При внесении ежегодных текущих изменений в полной мере учитываются последствия происходящих в лесном фонде неблагоприятных природных явлений. Через каждые 5 лет производится актуализация лесного фонда.

В отношении картографической базы данных ничего подобного не производится. В предыдущие годы по результатам непрерывного лесоустройства в картографическую базу данных, а также в рабочие лесоустроительные планшеты вносились все текущие изменения, произошедшие в лесном фонде за отчетный год. После прекращения работ по непрерывному лесоустройству данная работа не выполняется.

Учитывая тот факт, что на сегодняшний день созданы электронные картографические базы данных на весь лесной фонд рес-

публики и переданы юридическим лицам, ведущим лесное хозяйство, становится актуальным вопрос о разработке программного комплекса по непрерывному внесению происходящих изменений в лесном фонде как в таксационную, так и в картографическую базы данных юридическими лицами с передачей данных на центральный сервер.

Используя картографическую и повыдельную базы данных ГИС «Лесные ресурсы» для расчета абсорбции парниковых газов участками лесного фонда имеется возможность применить любую из существующих методик расчета, основанную на исходных данных геоинформационной системы, и производить расчет депонирования углерода на любой участок лесного фонда республики.

Между тем, в практической деятельности более важное значение имеют знания о потоках углерода и его годичное депонирование участками лесного фонда, которое находится в прямой зависимости от годичного текущего прироста. С этой целью можно использовать данные, полученные на постоянных пунктах учета лесного мониторинга.

При проведении мониторинга состояния лесов специалистами РУП «Белгослес» были заложены 410 постоянных пунктов учета (ППУ), расположенных на транснациональной сети (16х16 км), покрывающей всю территорию лесного фонда республики. На ППУ с установленной периодичностью проводятся замеры периметров, высот и других показателей учетных деревьев с целью определения изменений в лесном фонде республики. На всех ППУ отобраны образцы лесных почв и лесной подстилки. Почвенные образцы отбирались по слоям лесной подстилки и фиксированным глубинам. В аналитической лаборатории РУП «Белгослес» по соответствующим методикам выполнен анализ отобранных образцов на содержание углерода и других химических элементов, создана электронная база данных.

Проводимые в лесном фонде республики инструментальные измерения периметров и высот учетных деревьев на постоянных пунктах учета мониторинга лесов позволяют с высокой точностью определять текущий прирост за пятилетний период (периодичность замеров – 5 лет) по основным лесообразующим породам, в целом по республике и отдельным участкам лесного фонда. Эти данные в сочетании с полученным на ППУ объемом естественного

отпада предоставляют возможность расчета ежегодного депонирования углерода древесной растительностью.

Что касается расчета среднегодового накопления углерода лесными почвами и подстилкой, здесь также данные почвенных обследований на постоянных пунктах учета лесного мониторинга позволяют произвести необходимые расчеты. Правда для определения среднегодовых значений изменения содержания углерода в этих компонентах необходимо выполнить повторное обследование почв с отбором соответствующих образцов и произвести необходимые лабораторные анализы. Далее путем несложных расчетов определяются необходимые показатели.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА (ПУЛОВ) В ЛЕСНОМ ФОНДЕ БЕЛАРУСИ

Расчет общего количества углерода, содержащегося в фитомассе лесов Беларуси, производится в разрезе лесообразующих древесных видов (преобладающих пород) и может быть сведен в таблицу 4.

Общий запас насаждений (V) устанавливается по материалам государственного учета лесного фонда или лесного кадастра Республики Беларусь на расчетный год.

Фитомасса компонентов насаждения, приходящаяся на единицу запаса в разрезе преобладающих пород, устанавливается на основе наличия связи между различными фракциями древесной фитомассы (ствол, ветви, сучья, хвоя, листья, пень, корни). Плотность сухой фитомассы, долевое содержание углерода в стволовой древесине и фракциях преобладающих пород определяется на основе анализа материалов заложенных пробных площадей и известных литературных данных (работы МГЭИК [24], ЕЭК ФАО ООН [26], С.В. Белова [27], В.В. Смирнова [28], А.А. Молчанова [29], Л.П. Смоляка, А.И. Русаленко и Е.Г. Петрова [30], И.Д. Юркевича и Э.П. Ярошевич [31], Н.А. Внуздаева, О.В. Шаховой и В.И. Стукаловой [32], В.А. Усольцева и С.В. Залесова [33], Н. И. Базилевича [34], Д.Г. Замолодчикова и А.И. Уткина [35], А.И. Уткина, Д.Г. Замолодчикова и А.А. Пряжникова [36].

Исходные данные для расчета использованных в таблице 4 конверсионных коэффициентов CV, приведены в приложениях A и Б [23].

В частности, масса в сухом состоянии отдельных фракций древостоя (стволовая древесина, сучья и ветви, хвоя или листья, корни плюс пень), а также отдельных компонентов лесного насаждения (подрост и подлесок, живой напочвенный покров), приходящаяся на 1 м<sup>3</sup> стволовой древесины, приведена в приложении А. Долевое содержание углерода в сухой фитомассе различных фракций древостоя и компонентов лесного насаждения приведено в приложении Б [23].

Таблица 4 Алгоритм расчета депонирования углерода фитомассой лесов Беларуси

		Ле	сообразу	ющий др	евесный	вид		Общее количество
Показатели	Сосна	Ель	Дуб	Береза	Ольха черная	Осина	Прочие	углерода (пулы) в компонентах насаждений
Общий запас насаждений, V, тыс. м <sup>3</sup>	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_7$	
Доля углерода С в компонентах на-								
саждения, приходящаяся на единицу запаса $V$ , $CV$ , $TC/M^3$								
стволовой древесины "1"	$C_1V_1$	$C_1V_2$	$C_1V_3$	$C_1V_4$	$C_1V_5$	$C_1V_6$	$C_1V_7$	
сучьев и ветвей"2"	$C_2V_1$	$C_2V_2$	$C_2V_3$	$C_2V_4$	$C_2V_5$	$C_2V_6$	$C_2V_7$	
хвои (листьев) "3"	$C_3V_1$	$C_3V_2$	$C_3V_3$	$C_3V_4$	$C_3V_5$	$C_3V_6$	$C_3V_7$	
корней и пней "4"	$C_4V_1$	$C_4V_2$	$C_4V_3$	$C_4V_4$	$C_4V_5$	$C_4V_6$	$C_4V_7$	
подроста и подлеска "5"	$C_5V_1$	$C_5V_2$	$C_5V_3$	$C_5V_4$	$C_5V_5$	$C_5V_6$	$C_5V_7$	
живого напочвенного покрова "6"	$C_6V_1$	$C_6V_2$	$C_6V_3$	$C_6V_4$	$C_6V_5$	$C_6V_6$	$C_6V_7$	
Общее количество углерода в компонентах насаждения C, тыс. тС								
стволовая древесина	$V_1{\cdot}C_1V$	$V_2 \cdot C_1 V$	$V_3 \cdot C_1 V$	$V_4 \cdot C_1 V$	$V_5 \cdot C_1 V$	$V_6 \cdot C_1 V$	$V_7 \cdot C_1 V$	$\sum V_n \cdot C_1 V$ Пул 8
сучья и ветви	$V_1 \cdot C_2 V$	$V_2 \cdot C_2 V$	$V_3 \cdot C_2 V$	$V_4 \cdot C_2 V$	$V_5 \cdot C_2 V$	$V_6 \cdot C_2 V$	$V_7 \cdot C_2 V$	$\sum V_n \cdot C_2 V$ Пул 9
хвоя или листья	$V_1 \cdot C_3 V$	$V_2 \cdot C_3 V$	$V_3 \cdot C_3 V$	$V_4 \cdot C_3 V$	$V_5 \cdot C_3 V$	$V_6 \cdot C_3 V$	$V_7 \cdot C_3 V$	$\sum V_n \cdot C_3 V$ Пул 10
корни и пни	$V_1 \cdot C_4 V$	$V_2 \cdot C_4 V$	$V_3 \cdot C_4 V$	$V_4 \cdot C_4 V$	$V_5 \cdot C_4 V$	$V_6 \cdot C_4 V$	$V_7 \cdot C_4 V$	$\sum V_n \cdot C_4 V$ Пул 11
подрост и подлесок	$V_1 \cdot C_5 V$	$V_2 \cdot C_5 V$	$V_3 \cdot C_5 V$	$V_4 \cdot C_5 V$	$V_5 \cdot C_5 V$	$V_6 \cdot C_5 V$	$V_7 \cdot C_5 V$	$\sum V_n \cdot C_5 V$ Пул 12
живой напочвенный покров	$V_1 \cdot C_6 V$	$V_2 \cdot C_6 V$	$V_3 \cdot C_6 V$	$V_4 \cdot C_6 V$	$V_5 \cdot C_6 V$	$V_6 \cdot C_6 V$	$V_7 \cdot C_6 V$	$\sum V_n \cdot C_6 V$ Пул 13
Общее количество углерода (пулы) в насаждениях преобладающих пород, тыс. тС	∑ CV <sub>1</sub> Пул 1	∑ CV <sub>2</sub> Пул 2	∑ CV <sub>3</sub> Пул 3	∑ CV <sub>4</sub> Пул 4	∑ CV <sub>5</sub> Пул 5	∑ CV <sub>6</sub> Пул 6	∑ CV <sub>7</sub> Пул 7	∑ CV Пул 14

Полученные на основании этих данных конверсионные коэффициенты CV приведены в таблице 5.

Таблица 5 Доля углерода в компонентах насаждения, приходящаяся на единицу запаса, в разрезе преобладающих древесных пород, CV [тС/м3]

Преобла-	Кон	версионн	ые коэффі	ициенты (	$CV, TC/M^3$	запаса
дающая древесная порода	Стволо- вая дре- весина	Сучья и ветви	Хвоя или ли- стья	Корни и пень	Под- рост и под- лесок	Живой напочвен- ный покров
Сосна – 1	0,268	0,050	0,012	0,046	0,0005	0,004
Ель – 2	0,235	0,034	0,038	0,044	0,0005	0,001
Дуб – 3	0,343	0,142	0,027	0,072	0,0005	0,006
Береза – 4	0,300	0,047	0,024	0,050	0,0005	0,005
Ольха (ч) – 5	0,275	0,060	0,025	0,047	0,0005	0,001
Осина – 6	0,224	0,027	0,018	0,045	0,0005	0,005
Прочие – 7	0,138	0,037	0,016	0,020	0,0005	0,008

Накопление углерода почвы на единицу площади в эквиваленте объема рассчитывается с использованием уравнения (3.1), рекомендованного Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов [24, с. 4, 123], следующим образом:

SOC = [SOC] 
$$\times$$
 Объемная плотность  $\times$  Глубина  $\times$   $\times$  Грубые фрагменты  $\times$  10, (3.1)

где SOC – накопление органического углерода почвы в представляющей интерес почве, MrC/га;

[SOC] – концентрация органического углерода почвы в данной почве, гС/кг почвы (из лабораторных анализов);

Объемная плотность – масса почвы на объем пробы, мг/м<sup>3</sup>;

Глубина – глубина взятия пробы, толщина или почвенный слой, м;

Грубые фрагменты -1 - (% объема грубых фрагментов/100);

10 — конечный множитель, вводится для преобразования единиц в MgC/ra.

Величины вышеизложенных показателей устанавливаются по материалам почвенно-лесотипологического обследования лесных земель Беларуси, корректируемые данными результатов анализов

(один раз в 10 лет) почвенных образцов, отбираемых в процессе мониторинга лесов Беларуси.

Содержание углерода, объемная плотность почвы, доля грубых фрагментов (фракция > 1 мм) определены по результатам анализов 367 профильных и смешанных почвенных образцов, отобранных в лесном фонде Республики Беларусь специалистами РУП «Белгослес» в 2001–2009 гг. Лабораторные анализы выполнены для почвенных горизонтов, охватывающих 30-сантиметровый слой почвы в центральной лаборатории Минлесхоза (РУП «Белгослес»), аккредитованной Национальным органом по аккредитации (Госстандарт Республики Беларусь). При этом концентрация органического углерода в почве определялась по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Полученные значения сгруппированы по сериям типов леса и представлены в виде средних величин.

Установленные среднеарифметические показатели для расчета органического углерода почвы в лесных землях Беларуси по состоянию на 01.01.2010 г. приведены в таблице 6.

Таблица 6 Исходные данные для расчета органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси

	КСпч – концентра-	Рпч - объемная	S <sub>пч</sub> – грубые	
Серии	ция органического	плотность	фрагменты почвы	
типов леса	углерода в почве,	почвы,	(фракции > 1 мм),	
	гС/кг	г/см <sup>3</sup>	%	
Вересковая	6,0	0,95	1,05	
Брусничная	6,2	1,0	1,05	
Мшистая	9,5	1,10	1,10	
Орляковая	11,4	1,20	1,20	
Кисличная	16,0	1,30	1,30	
Черничная	23,6	1,25	1,20	
Долгомошная	293,5	0,30	1,00	
Багульниковая	365,8	0,25	_	
Осоковая	313,4	0,25	_	
Осоково-сфагновая	338,9	0,25	_	
Снытевая	36,3	1,35	1,50	
Крапивная	203,9	0,80	_	
Папоротниковая	305,0	0,25	_	
Приручейно-травяная	349,8	0,25	_	
Злаково-пойменная	17,1	1,30	_	

Общий вид уравнения (3.2) для расчета органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси будет следующим:

$$C_{nq} = KC_{nq} \cdot P_{nq} \cdot (1 - S_{nq}/100) \cdot 3,$$
 (3.2)

где  $C_{\text{пч}}$  (Пул 15) — накопление органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси, [тС];

 $KC_{пч}$  концентрация органического углерода в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси, [ $\Gamma C/\kappa \Gamma$ ];

 $P_{пч}$  — объемная плотность верхнего 30-сантиметрового слоя почвы лесных земель Беларуси, [г/см<sup>3</sup>];

 $S_{\pi \Psi}$  – доля грубых фрагментов (фракции > 1 мм) в верхнем 30-сантиметровом слое почвы лесных земель Беларуси, [%]; 3 – конечный множитель для преобразования массы углерода в т/га, [10 т·см<sup>3</sup>].

В общей форме уравнение (3.3) для расчета накопления углерода лесной, подстилкой имеет следующий вид:

$$C_{\pi\pi} = M_{\pi\pi} \cdot KC_{\pi\pi}, \tag{3.3}$$

где  $C_{nд}$  – накопление органического углерода лесной подстилкой, [тC];

 $M_{nд}$  – масса лесной подстилки в абсолютно сухом состоянии, [т];

 $KC_{\Pi Д}$  – долевое содержание углерода в сухой массе лесной подстилки, безразмерная величина.

Масса лесной подстилки зависит от видового состава лесного насаждения, его компонентной структуры (древостой, подрост, подлесок, живой напочвенный покров), возраста и полноты древостоя, почвенно-лесотипологических условий, влияющих на интенсивность разложения лесного опада. Массу подстилки предлагается определять по формуле (3.4):

$$\mathbf{M}_{\Pi\Pi} = \mathbf{V}_{\mathbf{C}\Pi} \cdot \mathbf{K} \mathbf{M}_{\Pi\Pi}, \tag{3.4}$$

где  $V_{\text{сд}}$  – запас стволовой древесины, [м³/га];

 $KM_{\rm пд}$  — масса в сухом состоянии лесной подстилки в насаждении, приходящаяся на 1 м $^3$  стволовой древесины, [т/м $^3$ ].

Запас стволовой древесины может быть получен в повыдельном банке данных «Лесной фонд Республики Беларусь» или других лесоустроительных материалах.

Для определения конверсионных коэффициентов КМ<sub>пд</sub> были использованы данные из широкого круга литературных источников [26–36], материалы собственных пробных площадей и зало-

женных сотрудниками кафедры лесоводства и студентами-дипломниками кафедры лесоводства БГТУ. Таким же образом установлено долевое содержание углерода в лесной подстилке. Значения этих показателей приведены в разрезе лесных формаций (преобладающих пород) для средних лесоводственно-таксацион-ных характеристик формаций (таблица 7).

Таблица 7 Исходные данные для расчета органического углерода в лесной подстилке насаждений Беларуси

Преобла- дающая древесная порода (лесная формация)	$V_{cd}$ — запас стволовой древесины, м $^3$	КМ <sub>пд</sub> – масса лесной подстилки в сухом состоянии, приходящаяся на 1 м <sup>3</sup> стволовой древесины, т/м <sup>3</sup>	КС <sub>пд</sub> — долевое содержание углерода в сухой массе лесной подстилки	С <sub>пд</sub> – накопление органического углерода в лесной подстилке, [тС]
Сосна	Берется	0,100	0,460	
Ель Дуб	из повыдельно-	0,095 0,030	0,432 0,433	Определяется
Береза	го банка дан- ных «Лесной фонд Респуб-	0,010	0,400	по соответст-
Ольха (ч)		0,010	0,400	уравнению
Осина	лики Беларусь»	0,006	0,500	уравнению
Прочие	лики веларусь//	0,037 0486		

Общий вид уравнения (3.5) для расчета накопления органического углерода лесной подстилкой в насаждениях Беларуси будет следующим:

$$C_{\text{пд}}$$
 (Пул 16) =  $V_{\text{сд}} \cdot \text{KM}_{\text{пд}} \cdot \text{KC}_{\text{пд}}$ , [тС/га], (3.5)

Валежная древесина подразделяется на лежащую (валеж) и стоящую (сухостой). Сведения о запасах валежной древесины устанавливаются при лесоустройстве и вносятся в повыдельный банк данных «Лесной фонд Республики Беларусь».

Для расчета содержания органического углерода в валежной древесине предлагаются уравнения (3.6 и 3.7):

$$C_{\text{влд}}(\Pi \text{ул } 17) = V_{\text{влд}} \cdot \text{KM}_{\text{ВЛД}} \cdot \text{KC}_{\text{ВЛД}},$$
 (3.6)

$$C_{\text{всд}}(\Pi y \pi 18) = V_{\text{всд}} \cdot KM_{BCД} \cdot KC_{BCД},$$
 (3.7)

где  $C_{\text{влд}}$  – накопление органического углерода валежной лежащей древесиной (валежом), [тС];

 $V_{BДД}$  – объем валежа, [м<sup>3</sup>], берется из повыдельной базы данных;  $KM_{BЛЛ}$  – объемная плотность валежа в сухом состоянии, [т/м<sup>3</sup>];

КС<sub>влд</sub> – долевое содержание углерода в сухом валеже;

 $C_{\text{всд}}$  – накопление органического углерода валежной сухостойной древесиной (сухостоем), [тС];

 $V_{BCД}$  – объем сухостоя, [м $^3$ ], берется из повыдельной базы данных;

 $KM_{BCД}$  – объемная плотность сухостоя в сухом состоянии, [т/м<sup>3</sup>];

КС<sub>всд</sub> – долевое содержание углерода в сухостое.

Величины показателей плотности и концентрации углерода для валежной древесины предложены следующие [37]:

КМвлд = 
$$0.3 \text{ т/м}^3$$
, КМвсд =  $0.5$ , КСвдд =  $0.5 \text{ т/m}^3$ , КСвсд =  $0.5$ .

Годичное или среднепериодичное депонирование углерода в лесах в общем виде определяется по уравнению:

$$\pm \Delta C_t = (C_{t2} - C_{t1}) / (t_2 - t_1),$$

где  $\pm \Delta C_t$  — годичный или среднепериодический годичный поток углерода, тыс. тС/год;

 $C_{t2}$  – общее депонирование углерода лесами в момент времени  $t_2$ , тыс.  $\tau C$ ;

 $C_{t1}$  – общее депонирование углерода лесами в момент времени  $t_1$  тыс. тC;

 $t_2$  – календарный год производства расчета (например, 2010 г.);

 $t_1$  – календарный год предыдущего периода (например, 2005 г.).

При значении  $+\Delta C_t$  имеет место «сток» (абсорбция) атмосферного углерода. При значении —  $\Delta C_t$  имеет место «эмиссия» (выброс) углерода в атмосферу.

В информационных таблицах (сообщениях) годичные величины потока углерода (увеличение или уменьшение накоплений углерода в пулах) преобразуются в эквивалент CO<sub>2</sub>. Стехиометрическое соотношение CO<sub>2</sub> и углерода (C) составляет 44/12.

Пример расчета: 150 тС соответствует 550 т  $CO_2$  (150 · 44/12).

Расчет годичного (или среднепериодичного годичного) потока углерода может быть сведен в форме таблиц 8 и 9.

Как отмечалось ранее при оценке запасов углерода депонированного в болотах целесообразно применять методику, основанную на расчетах, согласно ТКП 17.12-08-2015 (33140) [22].

Таблица 8 Расчет годичных потоков углерода в разрезе преобладающих древесных пород

П			Пулы углерода (CV из табл. 1) в разрезе преобладающих пород, тыс. тС										
Пока-	11Vл 1   11Vл 2   11Vл 3   11Vл 4   11Vл 5   11Vл 6   11Vл /												
затели	Сосна	Сосна Ель Дуб Береза Ольха черная Осина Прочие											
C <sub>t2</sub>	$CV_{1t2}$	$CV_{2t2}$	CV <sub>3t2</sub>	CV <sub>4t2</sub>	CV <sub>5t2</sub>	CV <sub>6t2</sub>	CV <sub>7t2</sub>	$CV_{t2}$					
$C_{t1}$	$CV_{1t1}$	$CV_{2t1}$	$CV_{3t1}$	$CV_{4t1}$	$CV_{5t1}$	CV <sub>6t1</sub>	$CV_{7t1}$	$CV_{t1}$					

 $\Delta C_{4t}$ 

Таблица 9 Расчет годичных потоков углерода в разрезе компонентов лесных насаждений

 $\Delta C_{6t}$ 

 $\Delta C_{7t}$ 

 $\Delta C_t$ 

 $\Delta C_{5t}$ 

	в раз		глерода (V онентов лес		,	с. тС	Общий
Пока-	Пул 8	Пул 9	Пул 10	Пул 11	Пул 12	Пул 13	пул
затели	стволо- вая дре- весина	сучья и ветви	хвоя или листья	корни и пень	подрост и подле- сок	живой напоч- венный покров	угле- рода в лесах, тыс. тС
C <sub>t2</sub>	$V_n \cdot C_1 V_{t2}$	$V_n \cdot C_2 V_{t2}$	$V_n \cdot C_3 V_{t2}$	$V_n \cdot C_4 V_{t2}$	$V_n \cdot C_5 V_{t2}$	$V_n \cdot C_6 V_{t2}$	$CV_{t2}$
C <sub>t1</sub>	$V_n \cdot C_1 V_{t1}$	$V_n \cdot C_2 V_{t1}$	$V_n \cdot C_3 V_{t1}$	$V_n \cdot C_4 V_{t1}$	$V_n \cdot C_5 V_{t1}$	$V_n \cdot C_6 V_{t1}$	$CV_{t1}$
$\Delta C_t$	$\Delta C_{8t}$	$\Delta C_{9t}$	$\Delta C_{10t}$	$\Delta C_{11t}$	$\Delta C_{12t}$	$\Delta C_{13t}$	$\Delta C_{Vt}$

Уменьшение запасов торфа по сравнению с первоначальными на момент разведки происходит по двум причинам:

– промышленная добыча;

 $\Delta C_t$ 

 $\Delta C_{1t}$ 

 $\Delta C_{2t}$ 

 $\Delta C_{3t}$ 

 потери органического вещества в результате минерализации торфа при осушении и сельскохозяйственном использовании торфяного месторождения.

При определении оставшихся запасов торфа за базовую точку отсчета выбираются данные согласно [38] по состоянию на  $01.01.1978~\Gamma$ .

Оставшиеся запасы торфа определяются по формуле (3.8):

$$P_{\text{oct}} = P_{\text{oct1978}} - P_{\text{выр}} - P_{\text{мин}}, \tag{3.8}$$

где  $P_{\text{ост}}$  – оставшиеся геологические запасы торфа на расчетный период, тыс. т;

 $P_{\text{ост1978}}$  — оставшиеся геологические запасы согласно [23] по состоянию на 01.01.1978, тыс. т;

 $P_{\text{выр}}$  — извлеченные запасы торфа, тыс. т; значение данного показателя определяется на основании отчетных данных предприятий, осуществлявших добычу торфа, в том числе сохранившихся отчетных данных ведомств, предприятиями которых добыча торфа осуществлялась в 70-90-е годы XX века (Министерство местной промышленности, Белсельхозхимия, Министерство топливной промышленности);

 $P_{\text{мин}}$  — потери торфа в результате минерализации органического вещества торфа при осушении торфяного месторождения и его сельскохозяйственном использовании, тыс. т.

В случае отсутствия отчетных данных выработанные запасы в результате добычи торфа на конкретном месторождении определяются расчетным путем по формуле (3.9):

$$P_{\text{выр}} = P_{\text{ост}1978} \times S_{\text{выр}} / S_{\text{пром}}, \tag{3.9}$$

где  $S_{выр}$  — площадь выработанного торфяного месторождения (принимается по данным ГПО «Белтопгаз» и ГНУ «Институт природопользования» НАН Беларуси), га;

 $S_{\text{пром}}$  — площадь месторождения в границах промышленной глубины залежи согласно [38] по состоянию на 01.01.1978 г., га.

Потери торфа в результате минерализации органического вещества торфа при осушении и сельскохозяйственном использовании торфяного месторождения определяется по формуле (3.10):

$$P_{\text{MUH}} = K \times S_{\text{c/x}} \times p \times n, \qquad (3.10)$$

где К – коэффициент, учитывающий долю площади в границах промышленной глубины торфяной залежи, используемой в сельском хозяйстве, к площади месторождения в нулевых границах;

 $S_{c/x}$  — площадь (по данным районных землеустроительных служб), га;

р – средний показатель потерь торфа за счет его минерализации на 1 га при условной влаге торфа 40 %, равный 9,6 т/год;

n – количество лет расчетного периода.

$$K = S_{\text{iidom}} / S_0, \tag{3.11}$$

где  $S_0$  – площадь месторождения в нулевых границах, га.

Запасы торфа в границах болот рассчитываются по формуле (3.12):

$$P = S / S_0 \times P_{oct}, \tag{3.12}$$

где P – запасы торфа болот (их участков), подлежащих особой и (или) специальной охране, при условной влаге торфа 40%, тыс. т;

S – площадь болот (их участков), га.

Запасы углерода в болотах (их участках) рассчитываются по формуле (3.13):

$$\mathbf{M}_{\text{VEII}} = \mathbf{P} \times \mathbf{K}_{\mathbf{w}} \times \mathbf{K}_{\mathbf{A}} \times \mathbf{K}_{\mathbf{C}}, \tag{3.13}$$

где  $M_{yrn}$  – масса углерода, тыс. т;

Р – запасы торфа болот при условной влаге торфа 40% тыс. т.

 $K_{\rm w}$  – коэффициент пересчета массы торфа условной влаги 40% на абсолютно сухое вещество, равный 0,6;

 $K_A$  — коэффициент зольности, равный в среднем: для верхового торфа 0,963; для низинного торфа 0,88; для смешанного и переходного торфа 0,922;

 $K_C$  — коэффициент, учитывающий содержание углерода в абсолютно сухом веществе торфа, равный в среднем: для верхового торфа 0,556; для низинного торфа 0,585; для смешанного и переходного торфа 0,571.

Вышеприведенные ключевые показатели (таблицы 5-9) применяются для расчета углеродных потоков в лесном фонде Республики Беларусь на основе утвержденной Методики [6]. Применение Методики [6] обеспечивает достаточно высокую точность расчетов депонирования углерода лесами Беларуси, что объясняется использованием постоянно обновляемой повыдельной и картографической базы данных ГИС «Лесные ресурсы». Это дает основание придать Методике [6] более высокий статус нормативного акта, а именно ТКП «Правила расчетов поглощения и выбросов парниковых газов компонентами лесного фонда». Такое мероприятие включено в «Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года». Расчеты парниковых газов в лесном фонде [6] ограничены углекислым газов по причине абсолютно несущественного поглощения/выделения лесами других парниковых газов, как закись азота, метан, фторхлоруглероды.

### 4

# УГЛЕРОДНЫЙ БЮДЖЕТ ЛЕСНОГО ФОНДА БЕЛАРУСИ

#### 4.1. Леса Беларуси как источник абсорбции углекислого газа

Динамичное развитие лесной экосистемы Беларуси отличается устойчивой тенденцией повышения продуктивности лесов и увеличения древесных запасов (таблица 10).

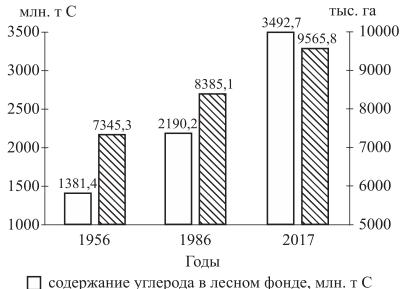
Таблица 10 Динамика лесного фонда Республики Беларусь

	Общая	Общий запас	Средний запас	Общее среднее
Годы	площадь	насаждений,	насаждений	изменение
учета	лесного фонда,	млн. куб.	на 1 га,	запаса, млн. куб.
	тыс. га	мет-ров	куб. метров	метров
1945	6159,0	321,20	70	12,4
1956	7345,3	490,20	77	17,3
1961	8014,0	470,17	70	18,3
1973	8205,1	697,60	99	19,4
1983	8264,9	732,89	102	20,0
1994	8676,1	1093,23	148	20,7
2004	9341,0	1382,40	178	26,8
2014	9477,2	1692,70	207	31,9
2017	9565,8	1772,50	215	37,6

За период с 1945 по 2017 годы увеличились общая площадь лесного фонда в 1,55 раза (+3406,8 тыс. га.), продуктивность (средний запас насаждений) – в 3,1 раза (+125 куб. метров на 1 га), общий запас – в 5,5 раз (+1451,3 млн. куб. метров). Это результат эффективной лесохозяйственной деятельности в областях лесовосстановления и лесоразведения, мероприятий по повышению продуктивности и ухода за лесом, рационального лесопользования и др.

Увеличение запасов насаждений, соответственно фитомассы лесной экосистемы республики, ведет к возрастанию нетто-потока

углерода от атмосферы в лес и его поглощению лесом. За период с 1956 года (первый послевоенный государственный учет лесов) содержание углерода в лесном фонде увеличилось. По состоянию на 01.01.2017 года пул углерода в лесном фонде Республики Беларусь составил 3492,7 миллионов тонн (рисунок 1). При увеличении площади лесного фонда в 1,3 раза пул углерода возрос в 2,52 раза. Прирост углерода почти в два раза превышает долю прироста площади лесного фонда. Это явилось следствием ряда факторов.



□ содержание углерода в лесном фонде, млн. т с□ общая площадь лесного фонда, тыс. га

Рисунок 1. Динамика углерода и площади лесного фонда Республики Беларусь

Во-первых, отметим ключевой фактор постоянного действия – проведение мероприятий по повышению продуктивности лесов, как главную стратегическую цель и задачу лесного хозяйства. Тем самым также повышается углеродопродуцирующая функция лесов. Традиционные и новые лесохозяйственные мероприятия проводятся при условии, что они способствуют повышению продуктивности лесов. Перечень этих мероприятий значительный в силу их широкого разнообразия и постоянного присутствия в лесохозяйственной деятельности. Отметим достигнутую в практической лесохозяйственной деятельности эффективность отдельных мероприятий.

По материалам мониторинга длительного (до 60 лет) воздействия лесохозяйственных мероприятий на прирост древесных за-

пасов и годичное депонирование углерода насаждениями Ивьевского опытно-производственного и Негорельского учебно-опытного лесничеств установлено значительное повышение углеродопродуктивности лесов. Среди методов лесовосстановления после рубок главного пользования увеличение депонирования углерода составило при: создании лесных культур + 1,40 тС/га/год, естественном возобновлении с применением мер содействия + 0,99 тС/га/год. Прибавки за счет мер ухода за лесами составили при: реконструкции с последующим созданием лесных культур + 1,39 тС/га/год, рубках ухода + 1,18 тС/га/год.

Во-вторых, фактором текущего периода, также оказавшим большое влияние на накопление углерода в лесном фонде, является сложившаяся возрастная структура лесов и объемы заготовки древесины. Текущая возрастная структура лесов не является оптимальной, однако весьма благоприятная для прироста древесных запасов и, соответственно, прироста депонированного при этом углерода. Индекс возрастной структуры лесов республики сегодня равен 0,30; при оптимальной возрастной структуре индекс равен нулю. Сегодня средневозрастные насаждения занимают 44,3 % площади покрытых лесом земель и превышают на 14,3 процентных пунктов оптимальную их долю. Средневозрастные древостои отличаются максимальным количественным текущим приростом запаса, что благоприятствует текущему приросту углеродного пула в лесах республики.

В-третьих. Для лесного хозяйства Беларуси последних трехчетырех десятилетий было характерным увеличение площади лесов первой группы с ограниченным размером заготовки древесины. Одновременно сокращалась доля эксплуатационных лесов второй группы (1983 год -64%, 2015 год -45,1%). На фоне прироста за 1944-2015 гг. земель лесного фонда (+4075,8 тыс.га) площадь эксплуатационных лесов уменьшилась на 441,0 тыс. га. Сокращение площади эксплуатационных лесов второй группы и накладываемые Правилами рубок леса ограничения в части нормативов рубок способствовали более низкой интенсивности лесопользования в Беларуси по сравнению с другими странами. Объемы заготовки древесины в расчете на единицу общего запаса составляли по Минлесхозу 8,37 (2001–2005 гг.), 8,94 (2006–2010 гг.), 11,11 (2011–2015 гг.) и 14,14 (2013–2017 гг.) куб.метров на 1000 куб. метров общего запаса в год, что в 1,21-1,90 раз меньше, чем в Литве, Польше, Австрии, Германии, Финляндии, Швеции и других европейских странах.

Указанные факторы способствовали возрастанию величины ежегодного общего изменения запаса: 1983 год - 20,0, 2017 год -37,6 млн. куб. метров (таблица 10). На перспективу существенных изменений площади лесного фонда не ожидается. Возрастная структура лесов сохранится неоптимальной. Уменьшение доли средневозрастных насаждений приведет к значительному уменьшению прироста древесных запасов. Возрастающая доля спелых лесов вызовет необходимость увеличения расчетной лесосеки, несмотря на сохраняемые новым Лесным Кодексом (2015) ограничения нормативов рубок леса. Экспертные оценки на перспективу 2050 года предполагают использование 57% запасов спелых насаждений от их наличия. В составе сохраняемых исключаются из главного пользования по природоохранным соображениям 22% запасов. Значительные объемы древесных запасов являются труднодоступными. Спелые древостои в зонах радиоактивного загрязнения с плотностью 13/Cs свыше 15 Ku/км<sup>2</sup> относятся к резервным для заготовки древесины и подлежат частичному ограничению рубки. В этих условиях общее среднее изменение запаса сократится до 15–17 млн. куб. метров. Это в 2,5 раза меньше, чем на 01.01.2017 года. Соответствующее такой динамике уменьшение абсорбции углекислого газа поглотителями лесного фонда потребует специфичных компенсационных мероприятий для сохранения достигнутых показателей 2017 года.

# 4.2. Компонентная структура лесоуглеродного ресурса Беларуси

Компонентная структура накопленного в лесном фонде Беларуси углерода (3492,7 миллиона тонн – рисунок 1) обусловлена региональными почвенно-климатическими условиями и видовым составом лесов. Исключительно важной особенностью потоков углерода в лесном фонде Беларуси является преобладание консервационных форм круговорота углерода (рисунок 2), направленных на секвестрацию почвенного углерода лесами.

Лесоуглеродный пул Беларуси почти на три четверти представлен органическим углеродом почвы (73,37 %). В лесном фонде на длительную консервацию из цикла биокруговорота выведены почти две трети объемов поглощенного углерода болотных лесов (1,64 млрд. т С) и земель под болотами (0,5 млрд. т С).

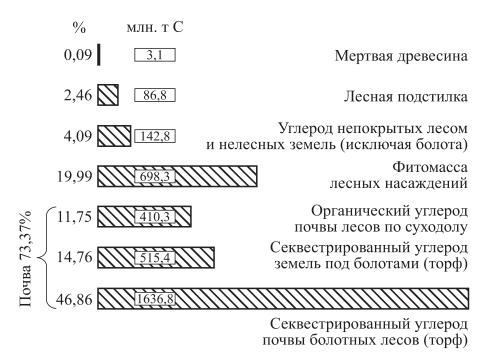


Рисунок 2. **Компонентная структура углеродного бюджета** земель лесного фонда Беларуси

В малый биологический круговорот лесов республики вовлечено 1340,5 млн. т С (38,38 % углерода лесного фонда). В наиболее активную форму биокруговорота вовлечен углерод фитомассы, мертвой древесины, лесной подстилки и 10-сантиметрового слоя почвы («условно подвижный углерод»), объем которого составляет 1073,9 млн. т С. Оставшийся объем углерода (в слое почвы 10–30 см) составляет «условно стабильную» форму биокруговорота.

Еще одна особенность биокруговорота и нетто-потоков "стокаэмиссии" углерода в лесной экосистеме Беларуси — превышение суммарного фотосинтеза растительного компонента лесного фонда над дыханием растений и разложением фитодетрита ("почвенное дыхание"). Подтверждением этого является изменение запасов углерода, депонированного лесным фондом в неизменных границах, т.е. без учета площади переданных в лесной фонд земель. За последние шесть десятилетий в условно неизменной площади лесного фонда содержание углерода возросло как минимум: +567 млн. тС в фитомассе и +780 млн. тС в почве. Правомерно констатировать ускорение синтеза углерода фитомассой лесных насаждений и замедление скорости "почвенного дыхания". Оба процесса способствуют абсорбции атмосферного диоксида углерода. Определяющим условием компонентной структуры лесоуглеродного ресурса являются лесорастительные условия (тип леса, тип лесорастительных условий). Ниже приведен анализ общего лесоуглеродного пула Беларуси )по состоянию на 2010 год) в контексте продуктивности фитомассы различных серий (групп) типов лесов (таблица 11).

В первых рядах с более высокой (93,5 – 78,2 тС/га) углеродопродуктивностью, последовательно размещаются леса следующих серий типов леса: кисличной – орляковой – черничной – мшистой – крапивной – брусничной. В нижнем ряду с углеродопродуктивностью 56,5–40,2 тС/га, т.е. в 1,7–1,9 раза меньше, размещаются насаждения серий типов леса: приручейно-травяной – долгомошной – багульниковой – осоковой; последнее место занимает сфагновая серия с крайне низкой (15,3 тС/га) углеро- допродуктивностью. Продуктивность лесов остальных типов составляет 72,3–58,6 тС/га.

В этой связи можно было ожидать такую же зависимость по сериям типов леса в части общего накопления углерода всеми компонентами лесных экосистем. Однако, здесь наблюдается, скорее, противоположная закономерность: суходольные леса депонируют углерода значительно меньше, чем болотные. Это объясняется рядом причин: более высокая интенсивность древесинопользования в лесах по суходолу; более тяжелые по гранулометрическому составу и потому с более высоким поглощающим комплексом почвы при избыточном увлажнении в болотных лесах. Следствием таких причин является ускоренная минерализация органического опада и повышенная интенсивность биокруговора в лесах по суходолу. В болотных лесах биокруговорот заторможен, органический опад консервируется и откладывается в виде почвенного гумуса и торфа.

Накопление углерода в значительной степени определяется типом лесорастительных условий (рис. 3). Наибольшие запасы углерода связаны болотными лесами (осоковая, папоротниковая, таволговая, багульниковая, долгомошная серии типов леса). Леса суходольных типов леса (вересковых, снытевых, орляковых, кисличных, черничных, мшистых), занимая 75% площади, депонировали лишь 31,3% углерода. В свою противоположность, леса долгомошные, багульниковые, таволговые, папоротниковые и осоковые, занимающие 21,4% площади, накопили 62,1% связанного лесными экосистемами Беларуси углерода.

Таблица 11

# Сравнительная углеродопродуцирующая продуктивность лесных насаждений Беларуси в различных сериях типов леса (по состоянию на 2010 год)

						Накопл	ение углер	ода, тС/га		
		Общий древес- ный запас, млн. м <sup>3</sup>				в том чи	сле в комп	онентах		
	Покрытые						органич	еский углерод		углерод
Серия типов леса	лесом земли, га		всего экоси- стемой				ПОЧВЫ			в сфере
Renectorag					фито- детрит	итого	подвиж- ный углерод	стабильный углерод в слое более 30 см	глубина торфа, см	биологи- ческого углерода
Вересковая	323951	56,8	92,1	67,4	9,4	15,3	15,3	-	_	92,1
Брусничная	36904	7,6	105,9	78,2	11,1	16,6	16,6	_	_	105,9
Мшистая	2163794	452,47	119,2	80,1	11,2	27,9	27,9	_	_	119,2
Орляковая	895280	202,7	134,9	86,6	12,2	36,1	36,1	_	_	134,9
Кисличная	1179078	287,8	160,9	93,5	13,1	54,3	54,3	_	_	160,9
Черничная	1219679	259,4	170,8	81,6	11,4	77,9	77,9	_	_	170,8
Снытевая	254734	48,6	207,6	72,3	10,3	207,6	207,6	_	_	207,6
Крапивная	146705	30,4	768,5	79,3	11,2	678,0	489,4	188,6	90	579,9
Папоротниковая	517722	86,1	907,2	63,3	9,0	834,9	228,8	606,1	100	301,1
Приручейно-травяная	79146	11,3	563,9	56,5	7,8	499,6	262,4	237,2	50	326,7
Злаково-пойменная	12730	2,2	263,2	66,8	9,2	187,2	66,7	120,5	50	142,7
Таволговая	215981	33,4	1074,4	58,6	8,4	1007,4	235,1	772,3	120	302,1
Осоковая	458716	49,5	1268,1	40,9	5,9	1221,3	235,1	986,2	150	281,9

### Окончание табл. 11

				Накопление углерода, тС/га							
		ный всего			I	в том чи	сле в комі	понентах:		УГП <b>АР</b> ОП	
	Покрытые		RCCTO				органич	неский углерод		углерод в сфере	
Серия типов леса	лесом			фито-	фито-			биологи-			
	земли, га			масса	детрит		подвиж-	стабильный	глубина	ческого	
			CICMON	Macca		итого	ный уг-	углерод в слое	тор фа,	углерода	
							лерод	более 30 см	СМ	утперода	
Долгомошная	241980	35,5	566,3	56,1	7,9	502,3	261,5	240,8	50	325,5	
(минеральная)											
Долгомошная	177762	18,6	789,1	40,2	5,7	743,2	261,5	481,7	80	307,4	
(болотная)		ŕ	,				ŕ				
Багульниковая	110938	13,9	1299,0	48,2	6,8	1244,0	274,4	969,6	130	329,4	
Сфагновая	10800	0,43	1391,2	15,3	2,4	1373,5	254,2	1119,3	160	271,9	
Ито	ого 8045900	1596,7	341,0	75,9	10,7	254,4	99,7	154,7	_	186,3	

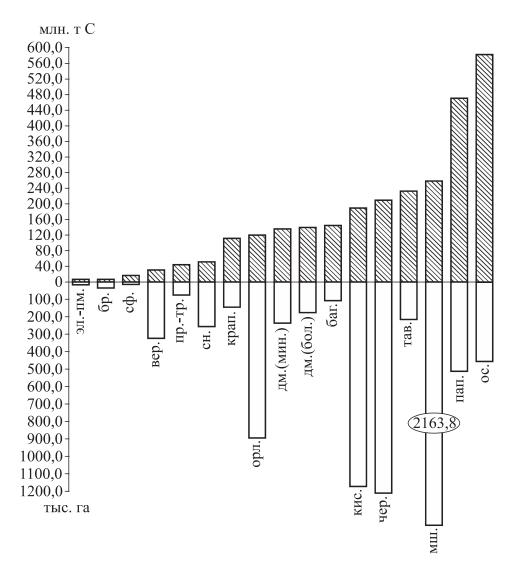


Рисунок 3. **Накопление углерода и покрытые лесом земли** в разрезе серий типов леса

Основные запасы углерода связаны почвой лесонасаждений. Всего в лесной экосистеме Беларуси накоплено 2,74 млрд. тС, в том числе на органический углерод почвы приходится 74,6% его общих запасов. При этом на стабильный углерод почвы (торф) приходится 60,8% почвенного углерода, остальные 39,8% приходятся на подвижный углерод, содержащийся в 30-сантиметровом верхнем слое почвы (рис. 4). На долю углерода фитомассы приходится 22,3% и фитодетрита – 3,1% от всего связанного лесами углерода.

Наибольшие запасы углерода накапливаются почвами болотных лесов: от 1373,5 тС/га в сфагновых лесах до 499,6 тС/га в приручейно-травяных; в злаково-пойменных – 187,2. Значительно уступают по

этому показателю леса по суходолу: от 15,3 тС/га в вересковых лесах до 207,6 тС/га органического углерода в почве снытевых лесов.

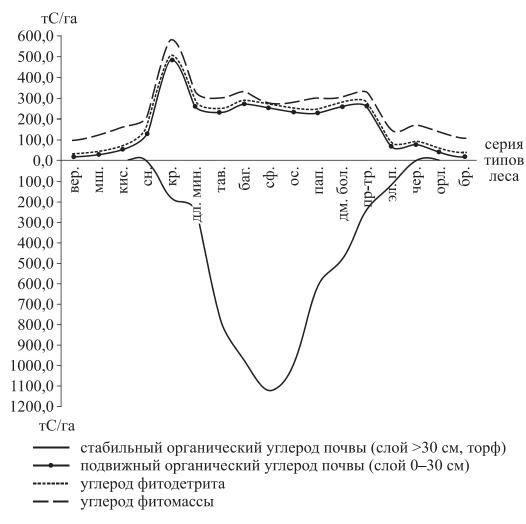


Рисунок 4. **Накопление углерода лесными насаждениями** в различных лесорастительных условиях

Накапливаемый лесами по суходолу углерод является подвижным, непосредственно и в полном объеме включенным в малый биологический круговорот. В болотных лесах (с глубиной торфа ≥ 50 см) часть органического углерода почвы не участвует в малом биологическом круговороте лесов, интенсивность которого здесь в целом не высокая. Не вовлекается в биокруговорот стабильный углерод (торф) в значительной доле от накопленного лесной экосистемой, например, следующих серий типов леса: сфагновой – 80,5%, осоковой – 77,8%, багульниковой – 74,6%, таволговой – 71,2%, папоротниковой –

66,8% и т.д. В этой связи предпочтительна сдержанная эксплуатация болотных лесов, чтобы не допустить повышенную эмиссию углерода в болотных лесах. Консервативная функция стока атмосферного углерода болотных лесов превышает возможные невысокие экономические выгоды от лесозаготовительной деятельности в них.

#### 4.3. Болотные леса Беларуси в свете углерододепонирования

Болотные леса сегодня являются предметом особого внимания ученых и широкой общественности как уникальная экологическая система, обладающая щедрым богатством растительных ресурсов и биологическим разнообразием, являющаяся огромным естественным фильтром пресной воды и важным звеном депонирования углерода.

Особенно значима роль болотных лесов для Беларуси в условиях широкомасштабной осушительной мелиорации, охватившей порядка 75% площади естественных болот и избыточно увлажненных лесных земель. Это влияет на гидрологический режим всей территории республики. Возрастающие объемы строительства дорог в лесном фонде Беларуси повышают доступность ресурсов болотных лесов, интенсивная эксплуатация которых может привести к нарушению биологического разнообразия и баланса углеродных потоков («эмиссии-стока») болотных лесов.

Болотные леса, согласно классификации ЮНЕП, умеренные и северные леса пресноводных болот — леса, произрастающие на болотах в областях с умеренным и холодным климатом. Для них характерны болотные почвы.

Болотные леса Беларуси занимают 1730,5 тыс. га покрытых лесом земель с общим запасом 245,83 млн. м<sup>3</sup>. Преобладают болотные леса низинного типа (82,7%), серий типов леса папоротниковой (29,95%), таволговой и крапивной. Долгомошная (болотных лесов)серия типов переходных болот также значительная (10,3% от общей площади болотных лесов).

Сосновая формация болотных лесов занимает 1,9% покрытых лесом земель; наиболее представлены березовая (39,4%) и черноольховая (34,5%) формации. Средний бонитет болотных лесов – 2,8, средняя полнота – 0,63. Молодняки занимают 22,3%, средневозрастные – 43,8, приспевающие – 17,8 и спелые и перестойные –

16,1% покрытых лесом земель. Средний запас на 1 га болотных лесов  $142 \text{ м}^3$ , в том числе ельников — 189, черноольшанников — 158, березняков — 189, сосняков —  $91 \text{ м}^3$  на 1 га.

Влияние болотных лесов на водный баланс территории, в том числе их водоохранное и водорегулирующее значение — предмет спорных дискуссий. Отсюда разные взгляды не целесообразность или недопущение гидролесомелиорации земель лесного фонда. Это следствие неоднозначных оценок эффекта осушительной мелиорации лесов и болот в Российском Нечерноземье и Белорусском Полесье.

Одна точка зрения основана на представлении о болотах и заболоченных землях как аккумуляторах пресной воды, регуляторах стока и питания рек, поддерживающих высокую водность рек. Следовательно, массовое осушение болот и других заболоченных земель, в том числе и заболоченных лесов, ухудшает гидрологический режим рек, вызывает их обмеление.

Другая точка зрения констатирует, что болота снижают водность рек и после осущения увеличивается суммарный и меженный сток, «в действительности болота вовсе не являются регулятором питания рек и роль их в этом отношении как раз обратная». Массовое осущение болот, заболоченных лесов и лугов вызывает локальное обмеление ручьев и небольших речек, связанное с понижением уровня грунтовых вод близ гидромелиоративных объектов, тогда как водность более крупных рек меняет мало и даже несколько увеличивает.

Нельзя обойти вниманием еще одну функцию болотных лесов – источника секвестра атмосферного диоксида углерода. Парижское климатическое соглашение наконец-то, в противовес Киотскому протоколу, признало, что сокращение выбросов и поглощения углекислого газа от лесных экосистем имеют решающее значение для смягчения последствий изменения климата. Парижское соглашение предполагает стимулировать развивающиеся страны в части лесоразведения и непревышения допустимой рубки лесов. Непонятно, почему речь только о развивающихся странах, в остальных допустимо обезлесение и деградация лесов? В свете Парижского соглашения рассмотрим роль болотных лесов как аккумулирующего звена в балансе «стока-эмиссии» углекислого газа.

В таблице 12 представлен углеродный бюджет болотных лесов. Основные запасы углерода (93,9%) накоплены в почве болотных лесов. На долю углерода фитомассы приходится всего 5,6% лесоболотного пула углерода.

Таблица 12

Запасы углерода в болотных лесах Беларуси, тыс. т С (покрытые лесом земли)

Серия типов леса	Фитомасса			Мерт-	Лесная	Органический углерод почвы				Лесобо-
	надзем- ная	под- земная	итого	вая древе- сина	под-	подвиж- ный	стабиль- ный	законсер- вирован- ный (торф)	итого	лотный пул угле- рода
Сфагновая	146	90	236	6	12	915	1 830	12 088	14 833	15 087
Долгомошная (болотных лесов)	6 293	1 172	7 465	230	634	15 495	30 990	85 624	132 109	140 438
Багульниковая	4 698	815	5 513	185	392	10 147	20 294	107 567	138 008	144 098
Осоковая	16 500	3 140	19 640	620	948	35 948	72 346	452 364	560 658	581 866
Таволговая	11 136	2 070	13 206	375	724	16 927	33 850	166 803	217 580	231 885
Приручейно-тра- вяная	3 795	715	4 510	124	282	6 923	13 845	18 773	39 541	44 457
Злаково-пойменная	749	147	896	27	55	283	566	1534	2383	3361
Папоротниковая	28 822	5 259	34 081	1 064	2 276	39 485	78 970	313 817	432 272	469 693
Крапивная	10 238	2 014	12 252	354	815	23 932	47 865	27 662	99 419	112 840
Всего	82 377	15 422	97 799	2 985	6 138	150 055	300 556	1 186 192	1 636 803	1 743 725

В малый биологический круговорот включено лишь 32,0% запасов углерода болотных лесов (фитомасса + мертвая древесина + подстилка + органический углерод 30-сантиметрового слоя почвы); заметим, что в лесах по суходолу весь депонированный углерод (100%) сосредоточен в зоне обмена (круговорота) между живой и неживой компонентой лесной экосистемы. В этом состоит важная функция белорусских болотных лесов – консервация атмосферного углерода в виде торфа (приблизительно 1,2 млрд. т С, или 68,0% от его общих запасов на покрытых лесом землях).

Сравнительная продуктивность лесов республики по запасам древесины и углерода (рисунок 5) свидетельствует, что в лесном углеродном пуле (2743,6 млн. т С, включая мертвую древесину и лесную подстилку) на лесоболотный пул приходится 63,6%, причем законсервированный благодаря болотным лесам республики углерод составляет 43,2%.

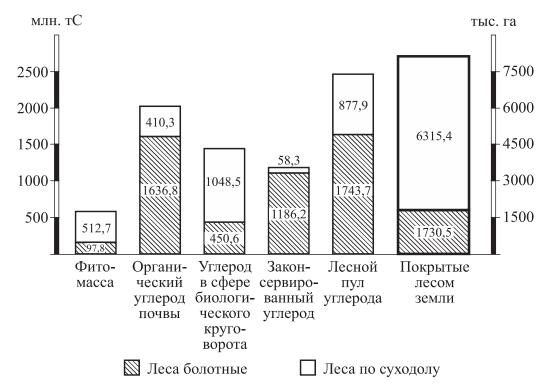


Рисунок 5. Сравнительный углеродный бюджет лесов Беларуси, в том числе болотных и по суходолу (покрытые лесом земли)

В малый биологический круговорот лесов республики вовлечено 1499,1 млн. т С (54,6% депонированного лесами углерода). 450,6 млн. тС в слое почвы ≤30 см болотных лесов составляют

ближайший резерв органического углерода почвы для вовлечения в биокруговорот при ускоренной минерализации почвенного гумуса, например, после лесоосушения или вырубки древостоя и т. п. В этой связи предпочтительна сдержанная эксплуатация болотных лесов, поскольку в первую очередь в звено эмиссии включается углерод фитомассы, детрита и верхнего слоя почвы.

В болотных лесах накоплены значительные древесные запасы — 245,83 млн. м³. Заготовка древесины в них затруднена по причине недостаточной транспортной доступности. Рентабельность лесовыращивания в неосушенных сосняках верховых болот и мягколиственных насаждениях переходных и низинных болот крайне низкая, скорее отрицательная; такие болотные леса занимают около 77% их общей площади. В то же время стоимость депонированного углерода в лесоболотных экосистемах примерно в 2,5 раза превышает стоимость древесных запасов, накопленных болотными лесами.

В нерентабельных для лесозаготовок болотных лесах (порядка 1,3 млн. га) за счет продажи углеродоквот текущего прироста можно получать ежегодно доход в сумме 47 млн. дол. США. При этом также обеспечивается сохранение биологического разнообразия болотных лесов. Такой подход к организации лесопользования в болотных лесах Беларуси может заинтересовать международные экологические фонды и способствовать доступу республики на международные рынки свободных углеродных квот.

# 4.4. Прогноз абсорбции углекислого газа лесным фондом Республики Беларусь

# 4.4.1. Прогноз древесных запасов и абсорбции углекислого газа в условиях традиционных лесохозяйственных мероприятий

Реализация традиционных и недоиспользуемых мероприятий по повышению древесной продуктивности позволяет ожидать следующую динамику древесных запасов в Республике Беларусь (таблица 13).

Динамика лесов зависит от расчетной лесосеки – размера рубки спелых насаждений. В данном прогнозе (таблица 13) принято использование лесосечного фонда (доля вырубленных запасов спелых насаждений от их наличия) равные 57%, на период 2016—2050 гг. Объективная необходимость сохранить 43% запасов спелых лесов заключается в следующем.

Таблица 13 Прогноз площади и запасов лесных насаждений Республики Беларусь

Преобладающая	Плоц	цадь, ті	ыс. га	Зап	ас, млн	л. м <sup>3</sup>	Средний запас, ${\rm M}^3/{\rm ra}$			
порода		Годы учета								
	2015	2030	2050	2015	2030	2050	2015	2030	2050	
Сосна	4129	4600	5590	955	1155	1425	231	244	255	
Ель	759	900	800	190	207	184	250	225	230	
Прочие хвойные	1	100	120	0,1	10	13	98	100	110	
Дуб	281	400	500	50	72	93	178	151	185	
Прочие твердо-	49	80	100	8	14	18	171	281	180	
лиственные										
Береза	1899	1605	1275	319	276	223	168	157	175	
Осина	174	150	100	34	35	23	197	173	230	
Ольха серая	161	130	100	23	20	15	141	142	150	
Ольха черная	697	700	700	132	126	126	189	147	180	
Прочие мягко-	54	55	55	3	4	5	53	63	90	
лиственные										
Итого	8204	8720	9340	1714	1917	2125	209	220	227	
Лесистость, %	39,4	41,9	44,9							

По данным Государственного Лесного кадастра Республики Беларусь на 01.01.2015 г. из общего запаса спелых насаждений 263,0 млн. м<sup>3</sup> не включены в расчет размера главного пользования 57,5 млн. м<sup>3</sup>. Следовательно, 22% возможного объема запасов лесосечного фонда исключено из главного пользования лесом по природоохранным соображениям (особо охраняемые природные территории, особо защитные участки леса). Доля таких лесов будет возрастать. Также значительные объемы древесных запасов относятся к труднодоступным. Спелые древостои в зоне радиоактивного загрязнения с плотностью по 137Cs от 15 до 40 Ku/км<sup>2</sup> относятся к резервным для заготовки древесины.

Считаем, принятая величина 57% использования лесосечного фонда является объективно целесообразной.

Прогноз и динамика поглощения атмосферного диоксида углерода лесными насаждениями Беларуси на период 2015–2030–2050 гг. представлен в таблице 14.

Из данных прогноза (таблица 14) следует вывод о положительной динамике поглощения углерода землями лесного фонда Республики Беларусь на ближайшую перспективу 2050 года. Среднепериодическое годичное депонирование составит в расчете на один

гектар земель лесного фонда в 2015–2030 гг. 0,66 тС/га·год и в 2031–2050 гг. – 0,48 тС/га·год и совокупно за 2016–2030 гг. – 0,54 тС/га·год. В сравнении с периодом 1960–2010 гг. прогнозируется сокращение годичного углерододепонирования на землях лесного фонда, ориентировочно, в 2 раза. Это следовало ожидать по причине сложившейся возрастной структуры лесов Беларуси.

Таблица 14 Прогноз динамики накопления углерода лесными насаждениями до 2050 года

Компоненты лесного насаждения		жание угло д учета, мл	
и виды лесных земель	2015	2030	2050
Древостой	596,5	665,4	738,5
Подрост и подлесок	0,9	1,0	1,0
Живой напочвенный покров	8,6	9,6	10,1
Корни	81,4	90,8	100,6
Валеж и сухостой	3,2	3,6	4,0
Лесная подстилка	89,5	100,1	110,9
Итого насаждения (покрытые лесом земли)	780,1	870,5	965,1
Не покрытые лесом земли (растительность)	135,0	133,0	130,0
Итого лесные земли (растительность)	915,1	1003,5	1095,1
Органический углерод 30-см слоя почвы зе-	2189,9	2200,5	2209,9
мель лесного фонда			
Итоговый пул земель лесного фонда	3105,0	3204,0	3305,0

Истекший послевоенный период (1944—2015 гг.) отличался масштабным лесоразведением, преобладанием молодняков с относительно невысокими средними запасами насаждений. В прогнозируемом (2016—2030 гг.) периоде возрастная структура лесов Беларуси изменилась с вектором наоборот: преобладают приспевающие и спелые насаждения, созданные в первые послевоенные и последующие годы с высокими средними запасами на единицу площади. Это способствовало росту накопления углерода на землях лесного фонда за 1944—2015 гг., ориентировочно, на 0,9 млрд. тС с приростом 1,58 тС/га·год в среднем.

В прогнозируемом периоде увеличится расчетная лесосека, поскольку ожидается значительный прирост спелых насаждений:  $2015 \text{ год} - 263 \text{ млн. м}^3$ , прогноз на  $2050 \text{ год} - 1442 \text{ млн. м}^3$  (в случае недопущения рубки спелых насаждений). Леса выполняют многообразные функции, как социально-экологические, так и дре-

весинообразующую. В допустимых размерах леса подвергаются рубками в целях заготовки древесины. Принципы рационального лесопользования запрещают рубку приспевающих насаждений, не рекомендуют накопление перестойных насаждений, ограничивают размер рубки годичным приростом древесных запасов.

Прогнозируемая расчетная лесосека предполагает рубку спелых древостоев в объеме 982 млн. м<sup>3</sup>. Вырубленные древостои будут восстановлены. Общий запас молодняков на восстановленных вырубках спелых насаждений составит за этот период порядка 230 млн. м<sup>3</sup>. Разность вырубаемых и восстановленных запасов за 2016–2050 гг. составит, ориентировочно, 752 млн. м<sup>3</sup>. Эти потери древесных запасов в системе «рубка-лесовозобновление» будут частично компенсированы недоиспользованным при рубках промежуточного пользования лесом в средневозрастных и частично приспевающих насаждениях. Тем не менее, сокращение годичного углерододепонирования на землях лесного фонда в период 2016–2050 гг., по сравнению с истекшими периодами (1944–2015, 1960-2015, 1990-2015 гг. и др.), будет иметь место. При этом сохраняется положительная величина годичного углерододепонирования лесами. Следовательно, на 2016-2050 гг. будет иметь место «сток» атмосферного диоксида углерода на землях лесного фонда Республики Беларусь.

Далее о единицах абсорбции углекислого газа, на величину которой можно рассчитывать в системе «сток—эмиссия» парниковых газов на ближайшую перспективу (таблица 15).

Таблица 15 Прогноз поглощения углекислого газа землями лесного фонда Республики Беларусь на период 2050 года

Наименование углеродных пулов	атмосфо углеро,	ение (абс ерного ди да по пер илн. тСО	иоксида иодам,	Среднепериодическое годичное депонирование (абсорбция) атмосферного диоксида углерода по периодам, тСО <sub>2/год</sub>			
	2016-	2031-	2016-	2016-	2031-	2016-	
	2030 гг.	2050 гг.	2050 гг.	2030 гг.	2050 гг.	2050 гг.	
1. Земли лесного фонда	363	370	733	24	18	21	
2. Фитомасса покрытых	331	347	678	22	17	19	
лесом земель							
3. Фитомасса стволовой древесины	252	268	520	17	13	15	

Абсорбция углекислого газа на 92% обеспечивается за счет фитомассы покрытых лесом земель, главным образом за счет образования стволовой древесины (71% от поглощения CO<sub>2</sub> землями лесного фонда). Прогнозируется возможность компенсировать индустриальную эмиссию парниковых газов в объеме до 18–24 млн. т CO<sub>2</sub> ежегодно за счет поглощения углекислого газа землями лесного фонда. Поскольку наиболее точно учитываемым в лесном фонде республики является запас насаждений, за единицу абсорбции парниковых газов целесообразно принять годичное депонирование атмосферного диоксида углерода стволовой древесиной. На ближайшую перспективу рекомендуется прогнозировать абсорбцию парниковых газов землями лесного фонда за счет ежегодного прироста запасов лесных насаждений на перспективу 2016—2030 гг. в объеме 17 млн. тСО<sub>2</sub> и на 2031–2050 гг. – 15 млн. тСО<sub>2</sub>.

### 4.4.2 Прогноз абсорбции углекислого газа лесным фондом Беларуси на период до 2030 года в условиях заявляемых объемов заготовки древесины

Лесами Беларуси за 1956–2017 годы «изъято» из атмосферы, депонировано в фитомассе и почве земель лесного фонда порядка 2111 млн. тонн углерода (рисунок 1). Это соответствует «стоку» (абсорбции) примерно 7740 млн. тонн СО<sub>2</sub>. С учетом того, что за этот период прирост массы СО<sub>2</sub> («эмиссия») в атмосфере Земли составил примерно 420 млрд. тонн, устойчивая углерододепонирующая тенденция лесов Беларуси заслуживает высокой оценки.

Ключевым фактором увеличения поглощения углекислого газа является рост продуктивности лесов за счет лесохозяйственной деятельности. Эффективными в части повышения углеродопродуктивности лесов являются следующие лесохозяйственные мероприятия. Сокращение сроков лесовосстановления не покрытых лесом земель на вырубках, гарях и т.п. до 2–3 лет. Создание лесных культур крупномерным посадочным материалом, посадочным материалом с закрытой корневой системой, с улучшенным генетическим качеством. Своевременное выполнение агротехнических уходов, защита несомкнувшихся лесных культур от вредителей и болезней. Перевод несомкнувшихся лесных культур в покрытые лесом земли в сроки не свыше 6–7 лет с момента создания лесных культур. Расширение площади эксплуатационного фонда для несплошных рубок главного пользования с ориентацией на природ-

ные методы лесовозобновления целевых (главных) древесных пород и сокращение оборота рубки на 5–7 и более лет. Применение экологощадящих лесозаготовительных технологий с сохранением подроста. Проведение мер содействия после заключительных приемов постепенных рубок с доведением полноты сохранившего после рубки молодняка до нормальной (1,0). Биологическая мелиорация (растения из семейства бобовых, другие биомелиоранты) при создании лесных культур, также молодняков естественного и искусственного происхождения. Выбор главных пород и целевых составов лесных насаждений на основе почвенно-типологических лесорастительных условий. Реконструкция малоценных и низкополнотных молодняков и средневозрастных насаждений. Строгое следование нормативам рубок ухода. Есть возможности увеличения лесистости Республики Беларусь.

Ниже приведены данные о возможности сохранения и повышения поглощения лесами атмосферного диоксида углерода в условиях эффективного управления лесами. Результаты лесохозяйственной деятельности за длительный период (Ивьевское опытнопроизводственное и Негорельское учебно-опытное лесничества), проектирование лесохозяйственных мероприятий на ревизионный период (Осиповичский опытный, Быховский и Чериковский лесхозы) и прогноз динамики лесоуглеродных пулов на среднесрочную перспективу (лесной фонд Республики Беларусь и Брестского ГПЛХО) свидетельствуют о тенденции превышения абсорбции углекислого газа над его эмиссией при управлении лесами на условиях устойчивого лесопользования и применения экологически ориентированных и экономически эффективных методов хозяйствования в области выращивания, охраны и защиты лесов (таблица 16).

Лесохозяйственные мероприятия способствуют повышению углеродопродуктивности лесов. Среди методов лесовосстановления прибавки поглощения углерода составляют при создании лесных культур +1,40 т С/га · год, при естественном возобновлении с применением мер содействия +0,99 т С/га · год. Прибавки за счет мер ухода за лесами составляют: +1,39 т С/га · год при реконструкциях с последующим созданием лесных культур; +1,28 т С/га · год при реконструктивных рубках; +1,18 т С/га · год при рубках ухода (таблица 17). Применение указанных мероприятий позволяет, как видим, повысить углеродопродуктивность лесного насаждения до 50% при рентабельности мероприятий до 18% и более (таблица 18).

Таблица 16 Среднегодичный прирост абсорбции углекислого газа в условиях применения эффективных лесохозяйственных мероприятий

	Площадь		Прирост
Наименование объекта	объекта	Период,	абсорбции
лесного фонда	(покрытые	годы	углекислого
лесного фонда	лесом земли),	тоды	газа,
	тыс. га		т CO <sub>2</sub> /га · год
1. Ивьевское опытно-производст-	13,673	1946–2008	+2,56
венное и Негорельское учебно-			
опытное лесничества			
2. Осиповичский опытный, Быхов-	278,261	2014–2023	+0,63
ский и Чериковский лесхозы			
3. Брестское ГПЛХО	1068,7	2013–2033	+0,49
4. Леса Республики Беларусь	8068,7	2011–2030	+1,10

Таблица 17 Эффективность длительного лесохозяйственного воздействия на накопление углерода

Наименование	Объем	Прирост за 57–58 лет за счет мероприятия				
мероприятий	мероприя-	Древесный				
	тия, га	запас, м <sup>3</sup> /га	углерода, т С/га			
1. Создание лесных культур после	698,5	+115	+44			
рубок главного пользования						
2. Проведение мер содействия ес-	385,8	+54	+21			
тественному лесовозобновлению по-						
сле рубок главного пользования						
3. Рубки реконструкции	187,1	+97	+37			
4. Реконструкция с созданием лес-	86,8	+114	+44			
ных культур						
5. Рубки ухода	198,2	+84	+32			

Отдавая должное лесному хозяйству Беларуси за накопление углерода фитомассой и его депонирование почвами земель лесного фонда (рисунок 6), на перспективу важно сохранить, по возможности повысить, достигнутый уровень абсорбции лесами диоксида углерода, как ключевого фактора его вывода из атмосферы. Это становится одной из стратегических задач лесохозяйственной деятельности, диктуемой нарастающей проблемой неблагоприятных погодно-климатических изменений, обусловленных "эмиссией" парниковых газов. Вклад лесного хозяйства в смягчение климати-

ческих воздействий будет оцениваться приростом годичной абсорбции углекислого газа лесным фондом.

Таблица 18 Ожидаемый эффект за счет накопления углерода от применения целевых лесохозяйственных мероприятий

	Помод	20mnom v	Эффект от мероприятия				
Наименование	Доход за 57–58	Затраты на проведение	Всего,	В том	числе		
мероприятий	лет, млн. руб.	мероприятия, млн. руб.	млн. руб.	млн. руб./га	руб./ руб. затрат		
1. Создание лесных куль-	4526,40	3250,10	1276,30	1,83	1,40		
тур после рубок главного пользования							
2. Проведение мер содействия естественному лесовозобновлению после рубок главного пользования	1172,80	79,86	1092,94	2,84	14,69		
3. Рубки реконструкции	1025,20	516,40	508,80	2,72	1,99		
4. Реконструкция с созданием лесных культур	555,60	471,14	85,46	0,99	1,18		
5. Рубки ухода	919,60	266,78	652,82	3,30	3,45		

Среднепериодическая (1956-2017 гг.) годичная абсорбция атмосферного диоксида углерода в лесном фонде составила 10,64 тСО<sub>2</sub>/га/год. В отдельные периоды величина годичной абсорбции варьировала от 3,8 до 14,4 тСО<sub>2</sub>/га/год, что связано с передачей земель в лесной фонд и иные землепользования, объемами заготовки древесины, лесовосстановления и лесоразведения.

В 2005 году Беларусь присоединилась к Киотскому протоколу Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК). В Первом национальном сообщении в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по РКИК впервые были учтены объемы выбросов парниковых газов. В 2011 году утверждена и введена в действие приказом Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь № 81 от 28 марта 2011 года «Методика общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь". С этого периода ведется учет содержания углерода на землях лесного фонда в Государственном лесном кадастре и лесоустроительных проектах.

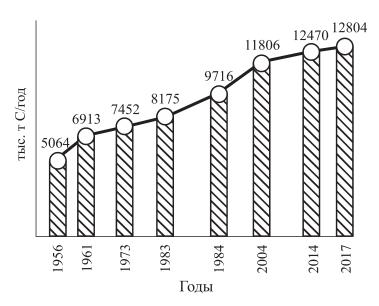


Рисунок 6. **Общее изменение углерода,** депонированного лесным фондом Республики Беларусь

Последние 10–15 лет передачи земель не столь масштабны, площадь лесного фонда изменяется незначительно. По этим причинам на перспективу за исходную величину годичной абсорбции углекислого газа землями лесного фонда целесообразно принять 4,91 т СО<sub>2</sub> /га/год. Эта величина является среднепериодической за 2000–2017 годы. Чрезвычайные обстоятельства гибели лесов в 2016 году не изменили величину этого показателя, что в очередной раз подтверждает устойчивость лесного хозяйства республики. В этой связи за исходную на ближайшую перспективу принята годичная абсорбция углекислого газа лесным фондом Республики Беларусь объемом 46986 тысяч тонн атмосферного диоксида углерода.

Углеродный баланс лесного фонда не является стабильным во временном аспекте, что связано с динамикой древесных запасов и размерами лесопользования. Сокращение прироста площадей лесных земель, сдвиг возрастной структуры лесов в сторону увеличения площадей приспевающих и спелых лесов, увеличение объемов заготовки древесины за счет рубок главного пользования, обновления, переформирования, реконструктивных и прочих рубок леса могут реально изменять углеродный бюджет лесного фонда, направлять нетто-поток углерода в сторону атмосферы. Мониторинг за формированием углеродных потоков в лесном фонде, механизм их расчетов становятся актуальной задачей. Преобладание «эмис-

сии» в углеродном балансе лесной экосистемы Беларуси в условиях возрастающего в мире напряжения по выбросам в атмосферу парниковых газов может оказаться неприятной проблемой лесохозяйственной отрасли страны.

Устойчивое динамичное развитие лесного хозяйства Республики Беларусь создает объективные предпосылки сохранить сложившуюся ранее динамику лесного фонда (таблица 10) как на ближайшую (2030 год), так и на более отдаленную (2050 год) перспективу. Прогнозируется при сохранении общей площади земель лесного фонда (9565,8 тыс. га) увеличение к 2030 году покрытых лесом земель (+80,6 тыс. га) и общих запасов лесных насаждений (+47,4 млн. куб. метров). При стабильных объемах заготовки древесины можно ожидать стабильного бюджета углерода в лесном фонде Беларуси (таблица 19, рисунок 7).

Таблица 19 Бюджет углерода лесного фонда Республики Беларусь на 01.01.2017 г.

<b>№</b> п/п	Показатели бюджета углерода	Величина показателей
1	Углерод лесного фонда общий, млн. тС	3492,7
2	Углерод фитомассы лесного фонда, млн. тС	698,3
3	Углерод мертвой фитомассы лесного фонда, млн. тС	89,1
4	Органический углерод почвы земель лесного фонда, млн. тС	2705,3
5	Среднее депонирование углерода лесным фондом, тС/га	365
6	Общее изменение депонированного лесным фондом углерода, тыс. тС/год	12804
7	Среднее изменение депонирования углерода лесным фондом, тС/га/год	1,61
8	Годичная абсорбция углекислого газа лесным фондом, тыс. ${\rm TCO_2/rod}$	46986

Сток атмосферного диоксида углерода происходит в основном за счет насаждений Министерства лесного хозяйства (рисунок 7). Занимая 88% общей площади земель лесного фонда республики, леса Минлесхоза обеспечивают 90,63% объема годичной абсорбции углекислого газа лесами республики. В этой связи устойчивость углерододепонирующей функции лесов респуб-

лики непосредственно зависит от принимаемых решений ведущего лесофондодержателя. Текущая динамика возрастной структуры лесов в пользу спелых, увеличение расчетной лесосеки, возросшие запросы внутреннего рынка на древесное сырье могут привести к уменьшению абсорбции углекислого газа лесами. Предметом особого внимания в этом плане является объем заготовки древесины.

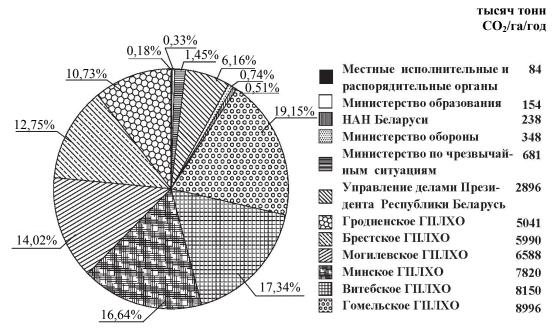


Рисунок 7. Годичная абсорбция CO<sub>2</sub> в лесном фонде органов государственного управления и других ведомств

Прогнозируемый объем заготовки древесины в лесах Республики Беларусь констатирует его увеличение. При расчете углеродных потоков от промежуточного пользования исключены объемы рубок ухода. Отбор деревьев в рубку при прореживаниях и проходных рубках производится за счет деревьев-кандидатов в естественный отпад. Это не изменяет величину абсорбции углекислого газа в лесном насаждении. В противовес этому, вывозка заготовленной древесины от рубок главного пользования, обновления, реконструктивных и прочих рассматривается как процесс «мгновенного окисления» древесины, сопровождающегося «эмиссией» углекислого газа.

Прогнозируемые на 2030 год ежегодные объемы заготовки древесины, вывоза ее из леса, представлены в таблице 20.

Таблица 20 **Прогнозируемые объемы заготовки древесины, тыс. куб. метров/год** 

Республиканские органы государственного управления и другие ведомства	Объем
управления и другие ведометва	
Республика Беларусь	13476,6
Министерство лесного хозяйства	12670,8
в том числе:	120,000
Брестское ГПЛХО	1311,0
Витебское ГПЛХО	2678,7
Гомельское ГПЛХО	2904,9
Гродненское ГПЛХО	1065,3
Минское ГПЛХО	2558,5
Могилевское ГПЛХО	2152,4
Управление делами Президента Республики Бе-	573,8
ларусь	
Министерство обороны	74,9
Министерство образования	73,2
НАН Беларуси	83,9
2025 год	,
Республика Беларусь	15178,8
Министерство лесного хозяйства Республики Бе-	14287,9
ларусь	
в том числе:	
Брестское ГПЛХО	1947,8
Витебское ГПЛХО	2814,6
Гомельское ГПЛХО	2982,3
Гродненское ГПЛХО	1984,6
Минское ГПЛХО	2786,9
Могилевское ГПЛХО	2371,7
Управление делами Президента Республики Беларусь	644,1
Министерство обороны	87,6
Министерство образования	71,9
НАН Беларуси	87,3
2030 год	
Республика Беларусь	19058,2
Министерство лесного хозяйства Республики Бе-	17945,7
ларусь	·
в том числе:	
Брестское ГПЛХО	1991,7

Окончние табл. 20

Республиканские органы государственного управления и другие ведомства	Объем
Витебское ГПЛХО	4659,9
Гомельское ГПЛХО	3196,2
Гродненское ГПЛХО	2447,8
Минское ГПЛХО	3244,3
Могилевское ГПЛХО	2405,8
Управление делами Президента Республики Беларусь	798,4
Министерство обороны	160,0
Министерство образования	66,8
НАН Беларуси	87,3

Таблица 21 Прогноз снижения запасов углерода и "эмиссии" углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь за счет увеличения объемов вывоза заготовленной древесины

Республиканские органы государственного	в загото	тлерода вленной е, тыс. тС	"Эмиссия" углекислого газа от заготовки и вывоза древесины, тыс. тСО <sub>2</sub>				
управления и другие ведомства	2018– 2025 гг.	2026– 2030 гг.	2018– 2025 гг.	2026– 2030 гг.	Итого 2018– 2030 гг.		
Республика Беларусь	2148	4375	7874	16038	23912		
Министерство лесного хозяйства	2035	4107	7460	15056	22516		
в том числе:							
Брестское ГПЛХО	810	840	2970	3079	6049		
Витебское ГПЛХО	170	1416	623	5191	5814		
Гомельское ГПЛХО	100	249	367	913	1280		
Гродненское ГПЛХО	398	715	1459	2621	4080		
Минское ГПЛХО	283	590	1037	2163	3200		
Могилевское ГПЛХО	274	297	1004	1089	2093		
Управление делами Президента Республики Беларусь	89	195	326	715	1041		
Министерство обороны	16	65	59	238	297		
Министерство образования	3	3	11	11	22		
НАН Беларуси	5	5	18	18	36		

Прогнозируется, по сравнению с 2017 годом, увеличение к 2030 году ежегодно в среднем на 1694 тыс. куб. метров объемов вывозки заготовленной древесины. Как следствие, ожидается снижение ежегодно в среднем на 1708 тыс. тонн годичной абсорбции углекислого газа лесным фондом (таблица 21).

Такая тенденция снижения стока углекислого газа противоречит национальной политике в области предотвращения изменения климата. Лесное хозяйство должно обеспечить компенсацию выбросов углекислого газа от увеличения заготовки древесины проведением мероприятий по повышению углеродопродуктивности лесов республики. Тем самым сохранится достигнутый уровень абсорбции углекислого газа. Также реально при ответственном лесопользовании и эффективных мерах воздействия на углеродные потоки в лесу увеличить годичную абсорбцию углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь.

## ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛЕСАМИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

В настоящее время общеизвестной мировой проблемой стало изменение климата. Связывают это с увеличением в атмосфере нашей планеты диоксида углерода [42, 54, 55, 75, 6, 100, 101, 114, 116]. Согласно главному итогу Международной конференции ООН по устойчивому развитию – «Рио + 20», проходившей в Бразилии в 2012 г., новые акценты в решении проблемы устойчивого развития основаны на «зеленой» идеологии и адекватной ей экономике. По результатам конференции принята декларация «Будущее, которого мы хотим». Ключевое положение документа – обеспечение длительного благополучного развития возможно лишь на основе принципов «зеленой» экономики. Ее формирование и распространение находятся в контексте решения приоритетных социальноэкономических проблем, включая проблемы занятости и качества жизни людей. По определению ЮНЕП, «зеленая» экономика повышает благосостояние людей, обеспечивает социальную справедливость и существенно снижает риски для окружающей среды [91].

В число принятых на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году важнейших документов вошла и Рамочная конвенция об изменении климата [91].

В соответствии с обязательствами Республики Беларусь по Рамочной конвенции ООН об изменении климата в формате для стран, входящих в приложение 1 Конвенции, наряду с проведением инвентаризации парниковых газов и определением их вклада в общий эффект глобального потепления, намечено подготовить детальную информацию по оценке потенциального влияния изменения климата, в том числе и на лесные экосистемы, а также оценить меры по их адаптации к изменению климата.

Поддержание положительного баланса эмиссии и поглощения углерода в полном соответствии с вышеуказанными положениями предусмотрено Киотским протоколом. В соответствии с этим протоколом во всем мире должен улучшиться баланс между эмиссией и депонированием углерода. Беларусь присоединилась к Киотскому протоколу и обеспечивает выполнение его условий [98].

За последние годы к этой проблеме мировое сообщество обращалось неоднократно. Последним из них были соглашения, подписанные в Париже в 2016 году, где поставлены более жесткие условия по сокращению эмиссии углерода. В тоже время, ряд промышленно развитых стран (США, Германия и другие) до сих пор сохраняют эмиссию парниковых газов в большем количестве, чем их связывает растительность на национальной территории этих государств. Особенно показательна здесь позиция США, где их президент Д. Трамп отказался присоединиться к Парижским соглашениям.

В отличие от упомянутых стран, Беларусь продолжает сокращать эмиссию парниковых газов, но особое внимание уделяет связывание углерода растительностью, где главную роль играют леса. Поэтому знание о запасах и темпах депонирования углерода в леса приобретает новое значение. Кроме общеупотребительного применения баланса эмиссии и депонирования углерода, как одного из решающих факторов регулирования составляющих атмосферы и климата, этот показатель стал значим для регламентирования хозяйственной деятельности.

Установление последствий изменения климата и прогноз на будущее для лесного растительного покрова Беларуси (его состав, продуктивность, ресурсный потенциал и т.д.) необходимо для практики лесного хозяйства с целью определения практических мер по адаптации отрасли (лесного хозяйства) и связанных с ней отраслей народного хозяйства к изменению климата. Поэтому динамика ресурсного и экологического потенциала лесных формаций в связи с изменением климата представляет интерес для науки и практики.

Основными аспектами изменения климата, значимыми для лесного хозяйства являются [91]:

- повышение средних температур всех месяцев года в период с 2010 по 2039 гг. в среднем на 0,6–1,9°C и в последующем на 1,0–2,9°C;
- увеличение продолжительности периода со среднесуточной температурой выше температурных пределов в 5 и 10°С и суммы температур соответствующих периодов;

- уменьшение глубины и сокращение периода промерзания почв в зимний период;
- возрастание вероятности экстремальных засушливых явлений и заморозков, прежде всего в летние месяцы, в южных мелиорированных районах Беларуси;
  - снижение уровня грунтовых вод.

Существенными для лесного хозяйства сдвигами в климате первой половины текущего столетия являются повышение средних температур всех месяцев года в среднем от 0,6 до 2,9°С при не уменьшающейся транспирации насаждений и незначительном увеличении осадков, которые приходятся на зимние месяцы, когда их роль как источника влаги для вегетации текущего года невелика.

Леса Республики Беларусь являются одним из важнейших возобновляемых ресурсов нашего государства. Они занимают свыше 8,0 млн. га и имеют общий запас более 1,7 млрд. м<sup>3</sup>. Лесистость территории в нашей стране достигла 39,5% [130].

В лесах Беларуси основной древесной породой является сосна. Она занимает 56% всех земель, покрытых лесом [130]. Поэтому выбор сосны в качестве модельной породы для исследования депонирования углерода лесными насаждениями обоснован.

Сосновые насаждения по территории Беларуси размещены относительно равномерно, но неоднородны по возрасту. Возрастная структура сосняков характеризуется преобладанием средневозрастных насаждений. Это связано с массовыми вырубками военного и послевоенного времени, которые продолжались и в 60-е годы прошлого века. К 1991 году количество спелых сосновых древостоев в наших лесах опустилось до 2,2%, а без учета сосны по болоту до 1,8% [51, 53, 61, 82, 98, 122, 123]. В настоящее время доля спелых лесов динамично увеличивается, достигнув уже почти 11% [130]. Такое количество спелых древостоев, хотя и является большим прогрессом по сравнению с предыдущим периодом, но ещё примерно в два раза меньше научно обоснованных нормативов [43, 49, 51, 68].

В то же время, исследования по депонированию углерода, которые проводили белорусские ученые, хотя и позволили получить общую картину для Беларуси в целом, требуют продолжения. Необходимо уточнение ежегодного депонирования углерода сосно-

выми насаждениями различного возраста, что имеет значение для оптимизации возрастной структуры сосновых лесов.

В силу сказанного проведение настоящих исследований именно в сосновых лесах обоснованно и актуально.

## **5.1.** Программа, методика исследований и экспериментальный материал

Программа работ определена условиями договора, и ее выполнение должно позволить решить целевую установку темы. Поэтому программа работ включала следующие вопросы.

- 1. Изучение состояния проблемы.
- 2. Сбор и анализ экспериментального материала.
- 3. Определение запаса углерода в сосновых древостоях в разрезе класса возраста.
- 4. Установление годичного текущего прироста сосновых древостоев Беларуси по классам возраста.
- 5. Нахождение величины годичного депонирования углерода в сосновых древостоях в разрезе класса возраста.
- 6. Мероприятия по повышения депонирования углерода сосновыми древостоями.
- 7. Спелости леса как основной показатель распределения древостоев по классам возраста.
  - 8. Экологическая спелость леса.
- 9. Современное и оптимальное распределение сосновых древостоев по классам возраста при действующих возрастах рубок.
- 10. Оптимизация возрастной структуры сосновых древостоев на основе экологической спелости леса.
- 11. Предложения по совершенствованию возрастной структуры сосновых древостоев Беларуси.

Методика исследований разработана, исходя из целевой установки темы и программных вопросов, поставленных для её выполнения. Она базируется на использовании общебиологических, лесоводственных, лесотаксационных, экономических и экологических методах исследования, описанных в литературе и нормативных материалах [43, 44, 45, 48, 51, 82, 83, 84, 87, 91, 97, 99, 102, 103, 106, 112, 113, 122, 123, 195, 85, 115]. Схема сбора, обработки и анализа результатов исследования в соответствии с действующими положениями [46] показана на рисунке 8. Окончательным

результатом настоящей работы станут модели запасов древесины и количество депонированного углерода.

В работе используются также методы биометрии, математического моделирования и системного анализа [46, 56, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 71, 72, 74, 76, 95, 119, 121]. Вопросы использования системного подхода и математического моделирования в лесном хозяйстве в последние десятилетия достаточно подробно освещены в литературе. Публикаций по этому вопросу очень много. Наиболее значимыми из них являются монографии и статьи О.А. Атрощенко [46], В.Ф. Багинского [51, 56, 115], С.А. Дыренкова [65], В.В. Кузьмичева [104], А.К. Кивисте [74], А.И. Колтуновой [76], К.Е. Никитина [94, 95], А.З. Швиденко [95] и некоторых других авторов. Трудами перечисленных и иных учёных [109, 121] описаны основные функции роста леса как структурные, так и эмпирические и смешанные. Многие модели имеют схожие графики функций на определенном временном или ином размерном интервале и могут быть взаимозаменяемыми.

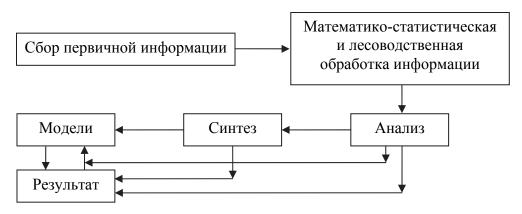


Рисунок 8. Схема сбора и обработки информации

Аналитический обзор состояния проблемы осуществляется путем изучения ведомственных нормативных источников [60, 61, 72, 77, 81, 6, 89, 96, 121, 122, 123], других нормативно—правовых документов и литературных источников, приведенных в списке литературы.

Экспериментальным материалом для настоящего исследования являются данные по учету лесного фонда, приводимые в Лесном Кадастре на 01.01.2017 года, и данные из актуализированного Банка данных «Лесной фонд», предоставленные нам РУП «Белгослес».

Существует немало публикаций, посвященных изучению последствий изменения климата для лесного хозяйства и лесных экосистем [101, 113]. Оценки изменения климата на территории Беларуси на первую половину текущего столетия базируются на результатах модели общей циркуляции атмосферы hadCM2 (Великобритания). Базовый период — 1960—1990 гг.

Оценка запасов углерода может быть проведена разными методами: по пробным площадям или по данным о запасах и приростах древесины и фитомассы по учетам лесного фонда [42, 54, 57, 61, 62, 73, 6, 88, 101, 105, 108, 109, 114, 7, 116, 119]. Использование данных учета лесного фонда позволяет получить результаты быстрее и с наименьшими затратами, а точность этого метода часто бывает даже выше, чем экстраполяция материалов пробных площадей за пределы исследованных пород, классов бонитета, возраста и полноты [73, 7, 116, 117]. Поэтому для расчетов запаса углерода в древесине и фитомассе насаждений мы применили методику неоднократно апробированную другими авторами, т.е. использовали материалы учета лесного фонда.

Количество углерода в наличном запасе и приросте определили с помощью конверсионных коэффициентов. Последние рассчитываются достаточно просто, зная химическую формулу основного компонента древесины — целлюлозы. Кроме целлюлозы в состав древесины входит лигнин [53, 57]. Он проявляется в легкой древесине в виде ванилина, а в твердой как сиреневый альдегид и ванилин. Доля углерода в лигнине почти не отличается от его количества в целлюлозе [54, 57, 75, 6, 93, 118].

Основным нормативным документом, использованным при расчете количества углерода, явилась официально утвержденная Минлесхозом Республики Беларусь «Методика общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь», которая разработана БГТУ (автор Л.Н. Рожков) [6]. Конверсионные коэффициенты для разных классов возраста в сосновых древостоях несколько отличаются в связи с повышающейся плотностью древесины с увеличением возраста. В среднем конверсионные коэффициенты приняты равными следующим величинам: 1 класс возраста -0.48, 2-0.49, 3-0.50, 4-0.505, 5-0.51, 6 класс возраста и выше -0.515.

Следовательно, для расчётов количества углерода, связанного древостоем, необходимо знать запасы и текущие приросты древе-

сины и её удельный вес. В среднем вес одного кубометра сосновой древесины в воздушно—сухом состоянии составляет 520 кг [77]. В растущем насаждении удельный вес древесины зависит от породы, возраста и в некоторой мере от типа леса. Количество углерода в связанном растительностью углекислом газе равно 30,44%.

Основным компонентом для определения депонированного углерода является углерод в стволовой древесине. Этот показатель определяется наиболее точно. Показатели же депонированного углерода в сучьях, корнях и фитомассе несложно найти, используя соответствующие коэффициенты, приведенные в вышеприведенной «Методике оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь» [44].

Применение описанных методик для оценки накопления углерода, апробированных ранее многими учеными [73, 88, 115, 7, 118], позволяет обеспечить приемлемую точность его определения в статике и динамике.

Важным моментом при проведении настоящего исследования является нахождение запасов и текущих приростов сосновых древостоев по классам возраста. Если в отношении запасов и их текущего изменения мы имеем достаточно полные данные в Лесном Кадастре [130], то текущий прирост должен определяться научными методами. Этот прирост зависит от древесной породы, возраста, условий произрастания (уровня производительности) и полноты. Используя данные по учету лесного фонда, мы можем получить достаточно точные результаты по возрасту исследуемых насаждений и их запаса. Наиболее сложным является зависимость текущего прироста от полноты. Имеется много исследований по этому вопросу [44, 45, 131]. Текущие приросты в зависимости от возраста и уровня производительности приведены в различных таблицах хода роста. Мы используем официально утвержденные Минлесхозом БССР и Гослесхозом СССР в 1984 году таблицы хода роста для нормальных сосновых древостоев [96]. Данные о средней полноте по классам возраста и их средних полнотах получены из Банка данных «Лесной фонд». Переход от древостоев с полнотой 1,0 к древостоям с реальной полнотой осуществляется по формуле Герхарда [44, 45, 115]

– для теневыносливых пород:

$$Z_{M}^{D} = Z_{M}^{H} (2 - 1 \Pi) \Pi$$
 (5.1)

– для светолюбивых пород:

$$Z_{M}^{D} = Z_{M}^{H} (1,7-0,7\Pi)\Pi,$$
 (5.2)

где  $Z_{M}^{D}$ ,  $Z_{M}^{H}$  — текущий прирост соответственно таксируемого и нормально полного древостоев;

 $\Pi$  — полнота древостоя.

Большие исследования по влиянию полноты на текущий прирост проведены В.В. Антанайтисом и его учениками [43, 44]. В то же время упомянутые ученые не разработали специальных формул для сосновых древостоев Беларуси, поэтому, наиболее приемлемой формулой для использования в настоящем исследовании является формула Герхарда для светолюбивых пород.

Таким образом, материалом для расчетов депонирования углерода в текущем приросте сосновых древостоев по классам возраста являются средний возраст классов возраста, средние бонитеты сосновых древостоев по классам возраста, средние полноты по классам возраста и текущий прирост этих древостоев, рассчитанный по формуле Герхарда.

Оптимальное распределение по классам возраста, как установлено в лесоустроительной литературе [43, 45, 49, 51, 66, 67, 97], является теория нормального леса. В настоящее время, возрасты рубки сосновых древостоев в эксплуатационных лесах соответствуют 5 классу возраста (81-100 лет). В других категориях лесов в настоящее время возрасты рубки еще соответствуют тем, которые были установлены для лесов 1 группы (101–120 лет). Именно эти возрасты являются исходными позициями при определении оптимальной возрастной структуры в соответствии с теорией нормального леса.

Возрасты спелости по максимальному депонированию углерода (возрасты рубки здесь еще не установлены) соответствуют экологической спелости леса.

Экспериментальным материалом для установления экологической спелости леса явились данные из Лесного Кадастра на 01.01.2017 года [130], актуализированные сведения из Банка данных «Лесной фонд», а также общедоступные справочные материалы по влажности, удельному весу древесины [118].

Эти сведения приведены в таблицах 22–24.

Анализ таблицы 22 показывает, что наиболее представленными среди сосновых древостоев являются насаждения в возрасте от

41 до 60 лет. Почти достигли оптимальной нормы приспевающие насаждения. В то же время имеется недостаток молодняков, особенно 1 класса возраста. Спелые древостои, хотя и увеличились за последние 20 лет почти в 5 раз, но еще не достигли оптимального количества.

Таблица 22 Распределение площадей и запасов сосновых древостоев Беларуси по классам возраста на 01.11.2017 г.

Поморожани		Классы возраста										
Показатели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
Площадь, тыс. га	371,7	374,1	1045,6	1325,9	578,8	6,66	20,6	7,4	6,1	4,7	3,4	3838,2
Запас, тыс. м <sup>3</sup>	11994,6	46878,6	251307,6	374051,4	163926,6	26578,6	4772,9	1877,6	1822,4	1469,2	1086	885765,5

Таблица 23 Масса (кг) плотного кубического метра древесины в зависимости от влажности

Пополо		Влажность, %												
Порода	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Сосна	500	510	520	540	550	590	640	680	720	760	810	850	890	930

Таблица 24 Средние величины классов бонитетов и полнот по классам возраста

Класс возраста	Бонитет	Полнота
1	1,7	0,72
2	1,9	0,76
3	1,4	0,77
4	1,4	0,72
5	2,0	0,69
6	2,6	0,66
7	3,1	0,65
8	2,8	0,65
9	2,1	0,66
10 и более	1,5	0,67

Из таблицы 22 видно, что запасы сосновых древостоев соответствуют их площадям с учетом их возрастной динамики. В то же время, из-за снижения полноты приспевающих и спелых древостоев, их запасы относительно снижаются против нормальных насаждений.

Распределение площадей и запасов сосновых древостоев показаны на рисунках 9 и 10.

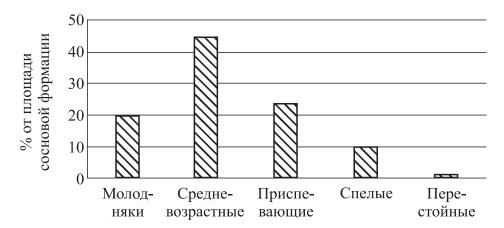


Рисунок 9. **Распределение площадей сосновых древостоев по группам возраста, %** 

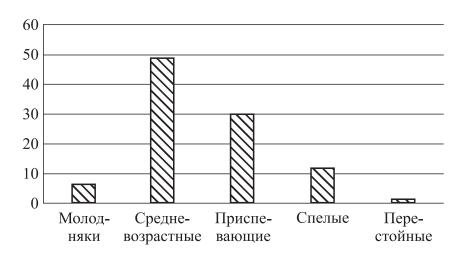


Рисунок 10. **Распределение запасов сосновых древостоев по группам возраста** 

Анализ рисунков 9 и 10 показывает, что доля запасов средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев более высокая, чем соответственные площади этих групп возраста, что связано с увеличением запасов на 1 га в процессе роста леса.

Следует отметить определенное уменьшение площадей и запасов сосняков в течение 10 месяцев 2017 года. Это вызвано большими объемами сплошных санитарных рубок сосновых древостоев из-за массового их усыхания после поражения вершинным короедом.

Из курса «Древесиноведение» [118] известно, что сырорастущая (свежесрубленная) древесина имеет влажность от 80 до 100 % в зависимости от условий произрастания. В средних условиях произрастания сосняков (сосняки мшистые) влажность растущей древесины находится в пределах 95-100 %. Поэтому удельный вес древесины сосны для расчетов будем брать при этой влажности из таблицы 23.

## 5.2. Запасы и прирост депонированного углерода сосновыми насаждениями по классам возраста

Выше показано, что проблемы изменения климата прямо связаны с темпами депонирования диоксида углерода, где ведущую роль играют леса. Там же отмечено, что исследования по депонированию углерода древостоя интенсивно проводятся в разных странах. Здесь известны работы В.А. Усольцева [116, 117], А.И. Уткина [7], Н.А. Моисеева [88], А.С. Исаева [73] и других для лесов России, Западной Европы и других. По вопросу депонирования диоксида углерода в нашей и мировой печати опубликовано огромное количество работ. В странах СНГ наибольшее внимание названному вопросу уделено в России, где сложились целые научные школы.

В Беларуси такие исследования проведены в Институте экспериментальной ботаники НАН Беларуси [69, 70, 75], в БГТУ [107, 108] и в Институте леса НАН Беларуси [92]. Их данные различаются, что связано как с особенностями методики исследования, так и с изменениями запасов древесины в лесном фонде с течением времени. Депонирование углерода в мертвой древесине, подстилке, почвах и болотах изучено Л.Н. Рожковым [108], А.Н. Никитиным [92] и другими [69, 70] и др. Данные по эмиссии и стокам углерода в Республике Беларусь в международных публикациях отражены недостаточно. Иногда это делалось зарубежными авторами на белорусском материале [7]. Поэтому исследования по более детальной оценке запасов депонированного углерода продолжают оставаться актуальными.

Для устранения или смягчения негативных последствий потепления климата в Беларуси предприняты реальные шаги по адаптации нашей экономики к изменяющимся условиям. В числе других мероприятий важнейшим является здесь Указ Президента Республики Беларусь от 13.08.2005 г. №370 «О присоединении Республики Беларусь к Киотскому протоколу и Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» и Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2005 г. №1582 «О реализации положений Киотского протокола и Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата на 2005–2012 годы» [99, 101].

В соответствии с вышесказанными документами принят ряд постановлений об учете парниковых газов. Соответствующие постановления и действия принимают практически все ведомства: Минприроды, Минсельхозпрод и т.д. Основным моментом здесь является согласование роста внутреннего валового продукта (ВВП) с темпами потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и выбросов парниковых газов (ПГ), где темпы роста ВВП должны значительно опережать потребление ТЭР и выброс ПГ. Минлесхоз Республики Беларусь выполняет все перечисленные мероприятия.

Депонирование углерода прямо зависит от прироста биомассы и темпов ее разложения. В этом плане важным является разработка баланса рубки, возобновления, выращивания крупномерной древесины и сохранение старовозрастных лесов [52, 55, 88, 89, 106, 109, 110, 120].

При проведении исследований депонированного углерода наибольшее значение имеет углерод, накопленный в стволовой древесине. В этом случае он консервируется на длительное время — на срок использования предметов, изготовленных из этой древесины. Другие компоненты насаждения утилизируются относительно быстро. Так, дрова, а в настоящее время и большую часть лесосечных отходов, сжигают, что приводит к выделению СО<sub>2</sub> в атмосферу. Поэтому наибольший интерес при изучении депонирования углерода представляет древесина стволов и особенно деловые сортименты. Этот показатель учтен в настоящей работе.

Следовательно, для расчётов количества углерода, связанного древостоем, необходимо знать запасы древесины и её удельный вес. Конверсионный коэффициент для расчёта запасов углерода в древесине, зависит от возраста древостоя и древесной породы. Он

колеблется по разным источникам от 0,4 до 0,55. Большинство авторов берет для расчётов усредненный коэффициент 0,5 [54, 57, 6, 105, 106, 115, 117]. Эта позиция оправдана тем, что при использовании для расчётов материалов учёта лесного фонда происходит неизбежное округление результатов, и принятый коэффициент не вносит существенных погрешностей в конечный результат.

В растущем насаждении удельный вес древесины зависит от породы, возраста и в некоторой мере от типа леса. Конверсионные коэффициенты приведены также в официальной методике для расчётов связанного углерода [6].

При анализе депонированного углерода лесными насаждениями наибольшую ценность представляют спелые и перестойные древостои. В насаждениях старшего возраста конверсионные коэффициенты, т.е. коэффициенты перехода от объёмных показателей древесины к весовым данным углерода несколько выше, чем в боле молодых. Это происходит из-за большей плотности древесины в более старшем возрасте.

В настоящее время знание о запасах и темпах депонирования углерода приобретает новое значение. Кроме общеупотребительного применения депонированного лесами углерода как одного из решающих факторов регулирования составляющих атмосферы и климата, этот показатель стал значим для регламентирования хозяйственной деятельности. Так, для определения возрастов рубки в Беларуси разработаны экологические и эколого-экономические спелости леса [50, 79]. Экологические спелости основываются на высокой корреляционной зависимости (0,85-0,97) между объемом депонирования  $CO_2$  и всеми остальными экологическими полезностями леса: водоохранными, почвозащитными, санитарно-гигиеническими [118]. Это еще больше повышает требования к точности определения объёмов депонирования углерода нашими лесами.

В Беларуси земли лесного фонда занимают 9,56 млн. га или 45,4% всей территории страны. Земли, покрытые лесом, расположены на 8,26 млн. га, т.е. составляют около 39,8% территории Беларуси. По территории Беларуси леса распределены неравномерно. В наиболее лесистых районах площадь лесов превышает 60% территории (Россонский, Лельчицкий районы), а в отдельных районах (Несвижский, Скидельский и др.) составляет 14-15% [44]. Одним из наиболее лесистых регионов является восточная часть белорусского Полесья [130].

Нашими исследованиями [48, 51, 141] доказано, что динамика роста древостоев Беларуси в различных лесорастительных подзонах практически идентична, т.е. наша страна представляет собой единый лесотаксационный район.

В отличие от ели, граба или дуба сосна не имеет четко выраженной привязки к лесорастительным подзонам [51, 82, 112, 113]. Доля сосны в Беларуси в течение более 200 лет, т.е. два века и до настоящего времени колебалась в пределах 50-60 % [60, 61, 82, 112, 113, 137].

Возраст рубки сосновых древостоев в Беларуси унифицирован. Он равен V классу возраста в лесах 2 группы и VI классу возраста в лесах 1 группы [51, 66]. Как показали специальные исследования [49, 51, 66, 68], для второй группы лесов эти возрасты рубки являются заниженными, т.к. не отвечают основным тенденциям потребления древесины [66, 68] и критериям эколого-экономической спелости [49, 50].

Исследования сосновых древостоев проводится уже более 150 лет. Здесь следует отметить первые исследования хода роста, выполненные в середине XIX века [48, 67, 141], а также таблицы хода роста А.В. Тюрина, составленные в начале XX века [115, 116]. Помимо исследования динамики насаждений в сосновых древостоях изучено варьирование основных таксационных показателей в зависимости от возраста и бонитета, влияние происхождения, полноты и густоты, географического района на их рост [43, 44, 45, 47, 48, 51, 66, 72, 77, 82, 83, 89, 109, 112, 113, 120, 122, 115] и т.д.

Несмотря на большие успехи, достигнутые в деле изучения сосновых древостоев, в последние десятилетия появились новые аспекты в исследовании как всех лесов, так и сосновых насаждений. Связано это с появлением новых подходов: развитием математического моделирования, системного анализа, усилением антропогенной нагрузки на леса и изменением климата [43, 46, 51, 52, 65, 73, 76, 77, 83, 95, 119, 120].

В наибольшей степени хозяйственное воздействие на леса проявляется в динамике, продуктивности и товарной структуре модальных древостоев. Поэтому знание о закономерностях их роста и развития является научной основой для оценки продуктивности лесов и прогноза лесопользования. Учет лесного фонда показывает данные именно для таких насаждений.

Ход роста и товарная структуру сосновых древостоев в Беларуси изучали разные авторы [47, 48, 51, 66, 68, 77, 82, 89, 96, 98, 116, 122]. Поскольку их данные несколько отличаются, то для оценки текущего прироста нами использованы официально утвержденные таблицы хода роста [96].

Как показано выше, расчет количества связанного углерода проводится по методике, утвержденной Минлесхозом и согласованной с Минприроды [95]. За основу здесь берутся запасы и приросты древесины в весовых единицах и конверсионные коэффициенты перевода запасов древесины в наличный диоксид углерода. В среднем эти коэффициенты близки к 0,5. По подобной методике рассчитаны запасы углерода в лесах Республики Беларусь, выполненные отечественными и зарубежными учёными [44, 47, 105, 106, 115, 116, 117]. Общий запас углерода в лесах Беларуси ранее определён в размере 498,7 млн. т. [105]. В переводе на 1 га земель, покрытых лесом (8046 тыс. га), это составит 62 т/га.

Таким образом, аналитический обзор состояния изучаемого вопроса показывает, что основные методические вопросы по изучению связывания углерода сосновыми насаждениями достаточно отработаны, и ими следует воспользоваться.

Проблема нахождения возрастов экологической спелости описана ниже.

Расчет запасов углерода проведен в соответствии с ранее описанной методикой. Расчеты показаны в таблице 25.

Анализ таблицы 25 показывает, что сосновыми древостоями Беларуси накоплено 230,5 млн. тонн углерода. Наибольшее накопление углерода наблюдается в 3 (65,3 млн. тонн), 4 (97,2 млн. тонн) и в 5 классе возраста (43,1 млн. тонн). Молодняки в силу их небольших средних запасов на 1 га и относительно небольших площадей накапливают значительно меньше углерода: 1 класс – 2,9 млн. тонн, 2 класс – 11,8 млн. тонн. Начиная с 6 класса возраста накопление углерода резко уменьшается из-за небольших площадей сосняков в этом возрасте. Уменьшение площади сосняков в старшем возрасте приводит к тому, что среднее изменение запаса углерода в стволовой древесине растущего насаждения начинает уменьшаться уже в 5 классе возраста и продолжается в остальных классах возраста. В среднем для сосновых древостоев текущее изменение запаса углерода остается почти стабильным (15 тыс. тонн). Увеличение расчетной лесосеки будет приводить к сокра-

щению высоковозрастных древостоев и уменьшению ежегодного депонированного углерода в стволовой древесине.

Таблица 25 Расчет общих запасов углерода в сосновых древостоях по классам возраста по состоянию на 01.11.2017 г.

Класс воз- раста	Запасы стволовой древеси- ны, тыс. м <sup>3</sup>	Удельный вес 1 м <sup>3</sup> воздушно-сухой древесины	Вес древесины в воздушно- сухом со- стоянии, тыс.т	Конвер- сионный коэффи- циент	Запас углерода, тыс.т	Текущее изменение запаса углерода, тыс. т/год
1	11994,6	0,510	6117,2	0,480	2936,2	146,8
2	46878,6	0,515	24142,5	0,490	11829,8	444,7
3	251307,6	0,520	130679,9	0,500	65330,0	2675,0
4	374051,4	0,520	194506,7	0,500	97253,3	1596,2
5	163926,6	0,521	85405,8	0,505	43129,9	-2706,2
6	26578,6	0,522	13874,0	0,505	7007,4	-1806,1
7	4772,9	0,530	2529,6	0,515	1303,7	-285,2
8	1877,6	0,540	1013,9	0,515	522,1	-39,1
9	1822,4	0,540	984,1	0,515	506,8	-0,8
10	1469,2	0,540	793,4	0,515	408,6	-4,9
10 и выше	1086	0,541	587,5	0,516	303,1	-5,3
Итого	885765,5	_	460634,6	_	230530,9	15,1

Запасы углерода в сосновых древостоях по группам возраста (%) показаны на рисунке 11.

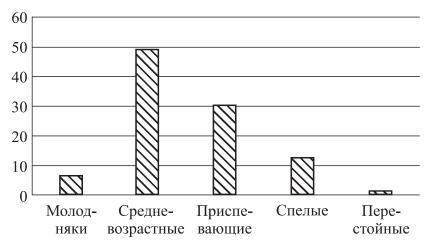


Рисунок 11. **Запасы углерода** в сосновых древостоях по группам возраста, %

Анализ рисунка 11 показывает, что наибольшая доля углерода накоплена в средневозрастных и приспевающих древостоях (почти 80 %). Молодняки в силу небольших запасов имеют невысокое накопление углерода (6 %).

Среднее изменение запаса отражает только изменение запасов растущего леса, но не отражает отпад. Известно, что текущий прирост древесины определяют не по величине наличного запаса, а по общей производительности древостоев [45, 115]. Текущий прирост древостоев определяется по общей производительности древостоев по следующей формуле:

$$Z_{\rm M}^{\rm TeK} = M_A - M_{A-n} + O_n \tag{5.3}$$

где  $Z_{\mathrm{M}}^{\mathrm{тек}}$  – текущий прирост по запасу в возрасте A;

 $M_A$ – запас в возрасте A;

 $M_{A-n}$ — запас в возрасте A-n;

 $O_n$  – величина отпада за n лет.

В реальном сосновом насаждении текущий прирост зависит от полноты и определяется по формуле Герхардта.

$$Z_{M}^{D} = Z_{M}^{H} (1,7-0,7 \Pi) \Pi,$$
 (5.4)

где  $Z_{M}^{D}$ ,  $Z_{M}^{H}$  — текущий прирост соответственно таксируемого и нормально полного древостоев;

 $\Pi$  — полнота древостоя.

На основании данных о текущем приросте при полноте 1,0 и сведений о средних классах бонитета и средних полнотах сосновых древостоев по классам возраста, был определен текущий прирост сосновых древостоев Беларуси по классам возраста. Величины текущего прироста при полноте 1,0 взяты из белорусских таблиц хода роста. Поскольку белорусские таблицы хода роста составлены до возраста 140 лет, то для 8 класса возраста и старше текущие приросты определили методом экстраполяции.

Вычисленные текущие приросты по классам возраста с учетом класса бонитета приведены в таблице 26.

Анализ таблицы 26 показывает закономерное изменение текущего прироста с возрастом, что соответствует установленным ранее закономерностям лесной таксации [44, 45,51, 100].

Текущий прирост углерода по классам возраста показан в таблице 27 и на рисунке 12. Для облегчения расчетов количества уг-

лерода введен коэффициент  $K_3$ .  $K_3=K_1*K_2$ , где  $K_1$  – вес 1  $M^3$  сосновой древесины в воздушно-сухом состоянии по классам возраста,  $K_2$  – конверсионный коэффициент по классам возраста.

Таблица 26 **Текущий прирост сосновых древостоев Беларуси по классам возраста** 

Класс возраста	Класс бонитета	Полнота	Текущий прирост при полноте 1,0, м <sup>3</sup> /га	Текущий прирост при модальной полноте, м <sup>3</sup> /га
1	1,7	0,72	3,4	3,4
2	1,9	0,76	10,6	9,1
3	1,4	0,77	11,6	10,4
4	1,4	0,72	10,2	8,8
5	2,0	0,69	7,7	6,5
6	2,6	0,66	5,5	4,5
7	3,1	0,65	4,0	3,2
8	2,8	0,65	3,5	2,8
9	2,1	0,66	3,0	2,4
10	1,5	0,60	2,5	1,9
10 и выше	1,3	0,50	2,0	1,35

Таблица 27 **Текущий прирост углерода по классам возраста** 

			Общий		Общий
	Площадь	Текущий	текущий		текущий
Класс	по классам	прирост	прирост	Коэффициент	прирост
возраста	возраста,	на 1 га, м <sup>3</sup>	по классам	K <sub>3</sub>	углерода,
	тыс.га	в год	возраста,		тыс. тонн
			тыс. м <sup>3</sup>		в год
1	371,7	3,4	1263,8	0,245	309,6
2	374,1	9,1	3404,1	0,252	857,8
3	1045,6	10,4	10874,2	0,260	2827,3
4	1325,9	8,8	11667,9	0,261	3045,3
5	578,8	6,5	3762,2	0,263	989,5
6	99,9	4,5	449,6	0,264	118,7
7	20,6	3,2	65,9	0,273	18
8	7,4	2,8	20,7	0,278	5,8
9	6,1	2,4	14,6	0,278	4,1
10	4,7	1,9	8,9	0,278	2,5
10 и выше	3,4	1,3	4,6	0,279	1,3
Итого	3838,2	_	31536,5	_	8179,9



Рисунок 12. **Текущий прирост углерода сосновых древостоев по классам возраста** 

Анализ таблиц 25 и 27, а также рисунка 12 показывает, что в растущих стволах сосновых древостоев изменения при современной возрастной структуре ежегодно добавляется 15 тыс. тонн углерода, т.е. количество углерода в стволовой древесине растущих древостоев в настоящее время остается относительно стабильным. Текущий прирост углерода в сосновых древостоях (с учетом отпада) составляет 8180 тыс. тонн. Это значит, что примерно 8000 тыс. тонн углерода откладывается в отпаде (мертвой древесине), что составляет примерно 4 % от углерода, остающегося в стволовой древесине.

Приведенные величины общего количества углерода, накопленного сосновыми древостоями, его среднее годичное изменение по классам возраста и текущий прирост углерода по классам возраста рассчитаны по данным на 01.11.2017 года (фактически на 01.01.2018 г.), которые нам предоставлены «Белгослесом». Заданием требуется сделать прогноз накопления углерода в сосновых древостоях по классам возраста и его текущее изменение на 01.01.2031 года.

Эти расчеты проведены, используя прогноз изменения площадей сосновых древостоев по классам возраста за последующие 13 лет: с 2018 по 2030 годы. Прогноз изменения площадей на 01.01.2031 года проведен по общепринятой в лесоустройстве методике. Средние запасы древесины на 1 га по классам возраста приняты равные современным. Расчет количества и текущего изменения прироста углерода по классам возраста приведен в таблице 28.

Анализ таблиц 25 и 28 показывает, что к 2031 году запасы углерода в сосновых древостоях практически остаются стабильными. Уменьшение общих запасов углерода незначительное и составляет всего 2%. Это вызвано тем, что основные накопители углерода 3, 4 и 5 классы возраста имеют достаточно большие площади, и расчетная лесосека к 2031 году существенно не увеличивается.

Среднее годичное изменение запаса углерода на 1 га по классам возраста также изменилось незначительно: от 15,4 тыс. тонн до 21,4 тыс. тонн. После 2030 года изменения накопления углерода в сосновых древостоях будет более существенным в силу того, что значительно увеличится расчетная лесосека, а запасы насаждений 3 и 4 классов возраста уменьшатся.

Анализ показывает, что основное накопление углерода проводится в 3 и 4 классах возраста. При увеличении расчетной лесосеки расход углерода с вырубленной древесиной начинает превышать его накопления в его насаждениях.

Таблица 28 Запасы углерода в сосновых древостоях и их текущее изменение по классам возраста на 01.01.2031 года

Класс возраста	Площадь по классам возраста, тыс.га	Сред- ний запас, м <sup>3</sup> /га	Запас древесины по классам возраста, млн. м <sup>3</sup>	Коэф- эф- фици- ент К <sub>3</sub>	Запас уг- лерода по классам возраста, тыс. т	Среднее изменение запаса углерода по классам возраста, тыс.т/год
1	519,2	32,3	16770,2	0,245	4108,7	205,4
2	372,3	125,3	46649,2	0,252	11755,6	382,3
3	608,2	240,3	146150,5	0,260	37999,1	1312,2
4	1140,2	282,1	321650,4	0,261	83950,8	2297,6
5	969,0	283,2	274420,8	0,263	72172,7	-588,9
6	188,1	266,0	50034,6	0,264	13209,1	-2948,2
7	7,2	231,7	1668,2	0,273	455,4	-637,7
8	16,0	253,7	4059,2	0,278	1128,5	33,7
9	6,9	298,8	2061,7	0,278	573,2	-27,8
10	5,6	312,6	1750,6	0,278	486,7	-4,3
10 и выше	5,5	278,5	1531,8	0,279	427,4	-3,0
Итого	3838,2	_	866747,1	_	226267,1	21,4

Увеличение запаса углерода в сосновых насаждениях определяется возрастанием общего запаса древесины в этих древостоях. Общеизвестно, что запас древесины конкретной породы в стране зависит от площади этой хозсекции и средних запасов древесины по классам возраста. Величина среднего запаса древесины прямо зависит от величины текущего прироста.

#### 5.3. Оптимизация возрастной структуры древостоев на основе экологической спелости леса

Возрастная структура древостоев является определяющей для расчета размера пользования лесом. Поэтому этой проблеме уделено большое внимание в литературе [43, 49, 50, 51, 66, 67, 80, 89, 97].

В лесоустройстве считается оптимальным такая возрастная структура, которая соответствует теории нормального леса [51, 67, 107]. Расчет групп возраста базируется на установленных возрастах рубки. Последнее в свою очередь рассчитывается по спелостям леса, которые в разное время были неодинаковыми. Спелость леса является одной из важнейших категорий лесного хозяйства. Ее изучением и развитием занимались многие видные ученые – лесоводы, лесоустроители и лесные экономисты [43, 49, 50, 51, 57, 67, 68, 77, 78, 79, 80, 86, 97, 114].

Трудами названных и других ученых исследовано содержание спелости, сделана классификация спелостей леса, определены возрасты спелости для основных лесообразующих пород в различных регионах Европы, Северной Америки и других континентов, прослежены закономерные связи спелостей леса с размером лесопользования, решены другие вопросы, имеющие частный характер: зависимость спелости от условий местопроизрастания и типа леса, модели максимума среднего прироста и т. д.

В то же время многие проблемы в данной области изучены недостаточно. В первую очередь к ним относятся экономические и экологические аспекты спелостей леса. Вызвано это постоянно изменяющимися условиями, в которых функционирует экономика. Экологическая составляющая спелостей леса стала актуальной лишь в последние десятилетия в силу возникших экологических проблем современного мира.

Определения спелостей леса приводятся практически во всех учебниках по лесоустройству и многих научных работах [43, 49, 50, 51, 67, 80, 89, 99, 124 и др.]. Их трактовка, различаясь в некоторых деталях, в целом совпадает. Спелость леса понимается как некоторое состояние насаждений, при котором они достигают определенного возраста и являются оптимально пригодными для использования в тех или иных хозяйственных или экологических целях.

Можно привести еще одно определение спелости леса, данное классиком лесоустройства и лесной экономики М.М. Орловым [97]: «Спелость леса — состояние насаждений и деревьев, ближайшим образом определяемое их возрастом, в котором они более всего пригодны для того употребления, для которого предназначаются». Хотя М.М. Орлов не имел в виду экологических полезностей леса — 90-100 лет назад они при лесопользовании практически не учитывались — но его определение настолько емко и всесторонне, что пригодно и для нашего времени.

Выделяют большое количество спелостей леса, соответствующих различным многообразным функциям леса: естественная, возобновительная, количественная, техническая, хозяйственная, финансовая, экономическая и т.д. [43, 49, 50, 51, 68]. В дореволюционное время и до 30<sup>х</sup> годов широкое распространение имели хозяйственная, в определенной мере качественная и финансовая спелости леса. В советское время и до настоящего момента возраст рубки в эксплуатационных лесах определяют на основе количественной и технической спелостей [51, 68, 92]. В связи с возросшим значением экологических полезностей леса в послевоенное время получили распространение спелости, имеющие экологическую природу: водоохранная, почвозащитная, рекреационная и т. д.

В настоящее время в лесоустройстве выделяют количественную, техническую, естественную, возобновительную, финансовую, экономическую и другие спелости леса [51, 68]. Не останавливаясь подробно на каждой из этих спелостей, отметим, что в настоящее время в нашей стране для расчетов возраста рубки используют техническую спелость. Эта спелость представляет собой тот возраст, когда средний прирост одного или группы ведущих сортиментов достигает максимума.

Как показали исследования К.Е. Никитина [93, 94], максимум среднего прироста наступает при пересечении графиков текущего и среднего прироста.

Определение возраста рубки по технической спелости проводится уже более 90 лет. В настоящее время недостаточно использовать только этот показатель. Поэтому разработали новые виды спелости: экономическую и ряд спелостей экологической природы — водоохранная, почвозащитная и т.д. [43, 49, 50, 51, 68, 80, 114].

В то же время, при расчете спелостей леса до недавнего времени не учитывался один из важнейших показателей, определяющих полезности леса — депонирование углерода. Поэтому была разработана специальная экологическая спелость, учитывающая этот фактор.

Многообразие экологических функций леса приводит к большому числу категорий лесов I группы. В бывшем СССР их было 25. В Беларуси в силу относительно меньшей вариабельности климатических и геоморфологических условий предусмотрено выделение в лесном фонде меньшего количества категорий лесов [51, 68, 81].

Многообразие категорий лесов приводит к большому количеству спелостей, имеющих экологическое содержание: водоохранная, защитная, санитарно-гигиеническая и т.д. Сведения о возрастах экологических спелостей (их часто называют специальными) противоречивы. Так, Б.А. Козловский [115] считает, что водоохранная спелость наступает в возрасте технической спелости, а защитная и санитарно-гигиеническая выше ее на один класс возраста. В то же время капитальные исследования Ф.П. Моисеенко и Н.К. Бобкова [116] говорят о наступлении возраста водоохранной спелости в сосняках Беларуси в 110-120 лет.

Современные воззрения на спелости экологической природы как на предельный возраст, после достижения которого в насаждении начинают резко уменьшаться экологические полезности, приводят в разных категориях лесов к высоким возрастам, близким к естественной спелости.

Многообразие спелостей экологического содержания затрудняет осуществлять обобщенный экологический подход к лесопользованию в лесах, отнесенных к категориям экологической природы. Многообразие критериев не позволяет выделить главную экологическую компоненту при определении возраста спелости как конструирующего элемента системы экологизированного лесопользования.

Как пишет А.В. Неверов [91], единый процесс воспроизводства природных ресурсов разделен между сферой материального

производства и экологической. Там же отмечено, что экономические стороны воспроизводства надо изучать с экологических позиций. Поэтому требуется построение эколого-экономической системы, представляющей собой интеграцию экономических отношений в лесном хозяйстве и действия природных (экологических) факторов. Именно в создании системы, системном подходе к исследованию проблем эколого-экономического регулирования, как отмечает О.С. Шимова [126], проявляется научно-теоретическая основа формирования экономического механизма природопользования.

В этой системе спелость леса — один из основных конструирующих элементов организации экологизированного лесопользования. Она определяет не только время воспроизводства лесных ресурсов, но и запас древостоев разного возраста, обеспечивающих непрерывное и постоянное лесопользование на определенном пространстве. Только в этом случае лес как стабилизатор экологических условий может рассматриваться с позиций географии, лесистости региона, экономического направления производительных сил и степени соответствия древесных пород в их пространственновозрастной структуре условиям жизнеобеспечения страны и региона [91, 100, 111]. Поэтому целесообразно иметь не множество критериев спелости, а один достаточно универсальный показатель.

Этот показатель должен служить для расчетов эколого-экономических эффектов в разных вариантах эколого-экономической оценки природоохранной и природоэксплуатационной деятельности с учетом пространственно-временного фактора.

В условиях Беларуси требуется многоцелевое использование лесных насаждений путем сочетания на одной площади многообразных функций одноцелевых лесов. Так, все насаждения выполняют водоохранную и защитную функции, являются источником древесины и других ресурсов, служат местом отдыха и оздоровления [50, 51, 68, 79, 100]. Занимаясь выбором универсального показателя экологической спелости и анализируя современную экологическую ситуацию, видим, что и защитные, и водоохранные, и санитарно-гигиенические свойства леса распространяются на некотором локальном уровне, в пределах от относительно небольшого района до региона, занимающего значительную площадь. Так, курортные леса имеют своей целью поддержание должного санитарно-гигиенического уровня определенной территории вокруг одного или нескольких санаториев или домов отдыха. Обыч-

но площадь таких насаждений не превышает 2-3 тыс. га. Водоохранные леса оказывают влияние на состояние водных источников некоторого водосбора, охватывающего больший или меньший регион. Здесь площадь влияния распространяется на сотни и тысячи квадратных километров в зависимости от величины водосбора и территории, занятой лесами.

Наиболее значимая, планетарная роль лесных насаждений заключается в их возможности депонировать диоксид углерода и производить атомарный кислород. Именно эту экологическую функцию выделяют как главную все ведущие ученые, работающие в данном направлении [42, 50, 51, 52, 55, 60, 73, 75, 77, 88, 99, 101, 105, 107, 108, 114]. Большинство из перечисленных и других ученых делают упор именно на связывании СО<sub>2</sub>. Отмечается, что дефицит кислорода человечеству пока не грозит, хотя его выделение находится в тесной корреляции с поглощением углекислого газа. Но с последним связаны тепловые изменения на планете. Увеличение содержания СО<sub>2</sub> в атмосфере за последние 50 лет составило 25 % [101]. Этот процесс имеет прогрессирующий характер, что вызывает большую тревогу мировой общественности [100, 101, 109, 114].

Перечисленные и иные ученые напоминают, что изъятие CO<sub>2</sub> из атмосферы возможно только путем фотосинтеза. Решающий вклад в этот процесс вносят леса. Наибольшее количество углерода извлекается в тропиках. Но там происходит и быстрое его возвращение в атмосферу. Бореальные и неморальные лесные экосистемы имеют меньшие темпы депонирования углерода, но задерживают его надолго, что делают их не менее значимыми, чем насаждения тропиков [114, 7, 116]. Молодые и средневозрастные насаждения активнее связывают углекислый газ, но именно наличие высоковозрастных древостоев обеспечивает продолжительное удержание углерода в связанном виде.

Таким образом, главная экологическая функция леса — это депонирование  $CO_2$ . При этом наибольшего эффекта можно добиться, если действует схема нормального леса с достаточно высоким оборотом рубки.

Принятие единого критерия экологической спелости через показатели связывания СО<sub>2</sub> удобно еще и тем, что оно определяется величиной запаса древостоя и его прироста. Последние таксационные показатели насаждения имеют прямую корреляцию с величиной других экологических полезностей леса.

В настоящее время сделаны попытки разработать коэффициенты экологической эффективности леса, выражающие его экологическую полезность в интегральном виде [118]. В этом случае находят относительные коэффициенты каждой полезности из сочетания их некоторой множественности. Каждый коэффициент – это отношение в процентах от некоторых предельных величин полезностей, принятых за эталоны. Названные коэффициенты зависят от древесной породы, района произрастания, полноты, возраста и других факторов. Корреляционный анализ величин, приведенных названными авторами нового подхода (таблица 29), показал, что определяющим компонентом является депонирование СО2. Связи этого показателя с выделением О2, биологически активных веществ (санитарно-гигиенические функции), пылезадержанием (противоэрозионная функция), с древесным запасом и приростом, а также с коэффициентом экологической эффективности имеют очень высокие и достоверные коэффициенты корреляции (таблица 29). Для отдельных аргументов наблюдается почти функциональная зависимость. Несколько менее тесная, но тоже достаточно высокая корреляция наблюдается с выделением биологически активных веществ, т.к. здесь большое значение имеет древесная порода.

Таблица 29 Корреляция между количеством связанного диоксида углерода и другими экологическими функциями (по исходным данным М.А. Куцевалова, В.В. Успенского, А.К. Артюховского) [128]

Фунуанца	Коэффициенты корреляции для аргументов										
Функция	$CO_2$	$O_2$	БАВ	П	$Z_{\mathrm{M}}$	Кэ					
$CO_2$	1,000	_	_	ı	ı	_					
$O_2$	0,996	1,000	_	ı	ı	_					
БАВ	0,681	0,699	1,000	_	_	_					
П	0,963	0,984	0,701	1,000	_	_					
$Z_{\mathrm{M}}$	0,991	0,981	0,656	0,939	1,000	_					
Кэ	0,990	0,995	0,748	0,978	0,981	1,000					

Условные обозначения:  $CO_2$  – поглощение диоксида углерода;  $O_2$  – выделение кислорода; FAB – выделение биологически активных веществ (санитарно-гигиеническая функция);  $\Pi$  – пылезадержание, противоэрозионные функции;  $Z_M$  – прирост,  $M^3$ ;  $K_3$  – коэффициент экологической эффективности древостоя по классификации упомянутых авторов.

Из математической статистики известно, что при наличии высокой корреляции между факторами-аргументами они должны исключаться из уравнения множественной регрессии. В этом случае в уравнении остается один ведущий аргумент [46, 56, 58, 64, 71, 85]. Поэтому мы имеем полное основание установить количественную связь экологических полезностей леса с одним интегральным показателем — связыванием  $CO_2$  и кладем этот фактор в основу установления экологической спелости леса.

Таким образом, принимая за основу возраста экологической спелости депонирование  $CO_2$ , мы «накрываем» практически все остальные экологические полезности леса. Здесь остается проблема верного определения самой экологической спелости. Необходимо, чтобы ее величина соответствовала максимальной реализации всех других полезностей, что возможно при достаточно высоком возрасте. Следует учитывать, что в соответствии с лесоустроительной практикой возрасты специальных экологических спелостей колеблются для хвойных в пределах от 90-100 до 140-160 лет.

Следовательно, экологическая спелость леса – это состояние насаждений, обусловленное их возрастом, в котором достигается максимальная экологическая эффективность постоянного лесопользования. Она характеризуется максимальной среднегодовой производительностью лесов, которая выражается через максимум среднего прироста. Этот показатель аккумулирует процесс воспроизводства запаса леса, обуславливая постоянство лесопользования на конкретной территории в аспекте положения «времяпространство». Особое внимание следует уделить именно последнему фактору, т.е. «время-пространство». Рассматривая лесные насаждения в дискретном состоянии, т.е. разрывая описанную связь «время-пространство», приходим к оценке лишь отдельного древостоя. В этом случае максимум среднего прироста приводит к количественной спелости [43, 50, 61, 68, 86]. Для удовлетворения сырьевых и экологических потребностей общества в лесных продуктах необходимо использование всей территории лесного фонда в его пространственно-временной взаимосвязи. Поэтому отыскание максимальной величины среднего прироста необходимо выполнить не для отдельного древостоя, а для их совокупности в пределах хозсекции.

Здесь возникает вопрос о минимальной величине этой совокупности, т.к. максимальная площадь лесов, используемая для анализа, может доходить до уровня территории государства и планеты. Исследованиями Н.А. Моисеева [87], Н.А. Моисеева и В.С. Чуенкова [86] показано, что такой первичной единицей учета должен быть лесхоз. В условиях Беларуси и Европейской части России это площадь лесного фонда, которая колеблется от 50 до 150-200 тыс. га. В среднем площадь лесхоза в Беларуси близка к 100 га [61].

Известно, что точкой отсчета для распределения древостоев по группам возраста является принятый возраст рубки [51, 68]. Изменение возраста спелости и возраста рубки приводит к новому распределению по группам возраста и влечет за собой различные площади групп возраста. При меньшем обороте рубки ежегодно вырубаемая площадь больше, чем при более высоком. Следствием этого явится изменение среднего прироста на территории, примерно равной площади крупного лесхоза.

Возраст экологической спелости нашли, выполнив имитационное моделирование изменения среднего прироста совокупности древостоев. Для этого вычислили значения среднего прироста при разной возрастной структуре при допущении наличия здесь нормального леса. Именно на такой модели наиболее наглядно можно увидеть изменение среднего прироста совокупности насаждений при разном обороте рубки. Для примера приведем величину среднего прироста для всех древостоев хозсекции во втором классе бонитета при разных возрастах рубки (таблица 30 и рисунок 13).

Таблица 30 Средний прирост на 1 га по хозсекции в сосновых древостоях II класса бонитета при разных возрастах рубки

Poppor nyfygy Hor	Средний прирост по хозсекции, м <sup>3</sup> /га							
Возраст рубки, лет	нормальные древостои	модальные древостои						
60	4,18	3,19						
80	4,39	3,20						
100	4,62	3,28						
120	4,64	3,28						
140	4,59	3,08						
160	4,48	2,93						

Из таблицы 30 и рисунка 13 следует, что наибольший средний прирост всей сосновой хозсекции наблюдается в возрасте от 100 до 120 лет. Следовательно, наибольший суммарный запас древесины всей хозсекции в данном случае тоже будет в этом возрасте. Таким образом, наибольшее количество накопленного углерода в исследуемых сосняках также будет в возрасте от 100 до 120 лет.

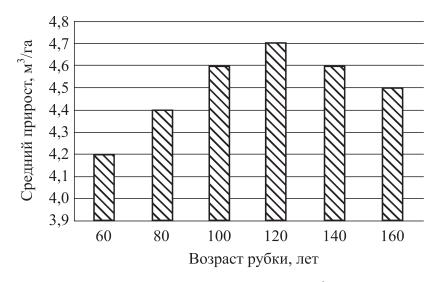


Рисунок 13. Средний прирост м<sup>3</sup>/га совокупности сосновых древостоев II класса бонитета при разных возрастах рубки в нормальных древостоях

Подобные расчеты, сделанные путем имитационного моделирования для всех классов бонитета, позволили вычислить экологическую спелость сосновых древостоев. В силу их большого объема и потому, что эти данные неоднократно опубликованы [78, 79, 80], здесь они опускаются. Вычисленные возрасты экологической спелости приведены в таблице 31.

Таблица 31 **Возрасты экологической спелости древостоев Беларуси** 

Возрасты экологической спелости (лет) по классам бонитета									
Нормальные древостои									
I <sup>a</sup>	I <sup>a</sup> I II III IV								
105	105 110 115 120 130 140								

Из таблицы 31 видно, что возраст экологической спелости наступает в возрасте значительно более высоком, чем количествен-

ная спелость. Это происходит из-за того, что меняется пространственно-возрастная структура. При обороте рубки в 60–80 лет большой удельный вес занимают молодняки I класса возраста, где запасы этой группы возраста низкие. При обороте рубки 140–160 лет преобладают насаждения с замедленным приростом. Поэтому наибольший среднегодовой прирост совокупности насаждений наблюдается в основном от 100 до 140 лет, т.е. когда на некоторой территории соблюдается оптимальное сочетание древостоев I, II, III, IV, V и VI классов возраста.

Анализ экологической спелости показывает, что она примерно на класс возраста выше возраста рубки в эксплуатационных лесах и соответствует возрастам рубки в категориях лесов экологического профиля. Если исключить насаждения сосны по болоту IV и V классов бонитета, то за возраст экологической спелости можно принять VI класс возраста, в пределах которого лежат возрасты экологической спелости от I<sup>a</sup> до III классов бонитета. Именно VI класс возраста может быть принят для расчета оптимальной возрастной структуры древостоев по максимальному депонированию диоксида углерода.

Возрастная структура сосновых древостоев Беларуси несовершенна. В силу истощительных рубок довоенного, военного и послевоенного времени резко уменьшилось количество спелых древостоев. Вследствие невысокой расчетной лесосеки по главному пользованию за последние 40 лет значительно снизилось количество молодняков. Современная возрастная структура сосновых древостоев по данным Лесного Кадастра на 01.01.2017 года [130] показана в таблице 32.

Таблица 32 **Площади и запасы сосновых древостоев по группам возраста (%)** 

Группа возраста	Площадь	Запас
Молодняки	18,4	6,4
Средневозрастные	42,7	47,2
Приспевающие	28,0	33,8
Спелые и перестойные	10,9	12,6
Итого	100	100

Мы видим, что в настоящее время преобладают средневозрастные насаждения при недостатке молодняков и спелых древостоев.

Исходя из теории нормального леса, оптимальная возрастная структура при современных возрастах рубок показана в таблице 33.

Таблица 33 Оптимальное распределение лесов по классам возраста в Республике Беларусь (в процентах от площади, занимаемой данной породой) при действующих возрастах рубки

Пополо	Возраст	Классы возраста									Итого
Порода	рубки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	V11010
Категории лесов экологической природы											
С	101	18	17	17	16	16	16	_	_	_	100
	Эксплуатационные леса										
С	81	22	21	20	19	18	_	_	_	-	100

Анализ таблицы 33 показывает, что при действующих возрастах рубки в эксплуатационных лесах должно быть 43% молодняков, средневозрастных — 20%, приспевающих — 19% и спелых — 18%.

В категориях лесов экологической природы, где возраст рубки составляет 101-120 лет, в состав средневозрастных насаждений входят насаждения 3-4 классов возраста. В результате оптимальное количество древостоев по группам возраста следующее: 35 % молодняков, средневозрастных -33 %, приспевающих -16 % и спелых -16 %.

Оптимальное количество древостоев по классам возраста имеет некоторую ассиметрию в сторону молодняков. Дело в том, что в процессе роста леса часть молодняков или средневозрастных древостоев неизбежно вырубаются в силу стихийных бедствий или других причин. Поэтому в соответствии с теорией нормального леса мы должны иметь в спелом возрасте достаточное количество древостоев, пригодных к рубке.

Выше было показано, что экологическая спелость сосновых древостоев от  $I^a$  до III бонитета лежит в пределах 6 класса возраста. Поэтому оптимальная возрастная структура сосновых древостоев, рассчитанная по оптимальному депонированию углерода, соответствует природоохранным категориям.

В низкобонитетных древостоях в силу их более высокой экологической спелости оптимальная возрастная структура несколько

иная: 1 класс -17 %, 2-16 %, 3-15%, 4-14 %, 5-13 %, 6-13 %, 7-12 %.

Учитывая, что в этом случае к средневозрастным насаждениям будут отнесены древостои 3, 4 и 5 класса возраста, распределение по группам возраста будет выглядеть следующим образом: молодняки — 33 %, средневозрастные — 42 %, приспевающие — 13 % и спелые — 12 %. Учитывая, что насаждения низких классов бонитета накапливают значительно меньшее количество углерода и имеют невысокое хозяйственное значение, целесообразно для упрощения учета принять единую оптимальную возрастную структуру сосновых древостоев на принципах максимизации накопления углерода за весь период жизни насаждения, а именно молодняки — 35 % (1 класс возраста — 18 %, 2 — 17 %), средневозрастные — 33 % (3 класс возраста — 17 %, 4 — 16 %), приспевающие — 16 % (5 класс возраста — 16 %), спелые — 16 %.

Приведенное оптимальное распределение сосновых древостоев по группам возраста показано на рисунке 14.

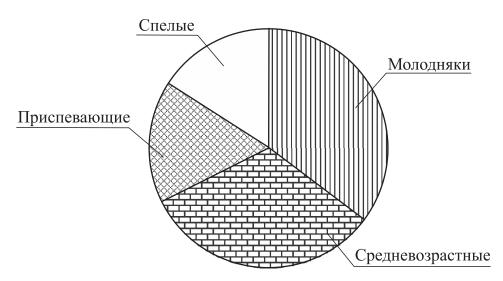


Рисунок 14. **Оптимальное распределение сосновых древостоев по группам возраста**, %

При достижении возрастной структуры, показанной на рисунке 14, лесопользование в сосновых древостоях Беларуси будет осуществляться в соответствии с теорией нормального леса.

Из вышеизложенного вытекает, что оптимальное накопление углерода в сосновых древостоях происходит при возрастной структуре лесов, когда возраст рубки соответствует экологической

спелости (6 класс возраста). Как показано выше, доля древостоев каждого класса возраста в этом случае должна быть следующей: 1 класс возраста – 18 %, 2 – 17 %, 3 – 17 %, 4 – 16 %, 5 – 16 %, 6 класс возраста – 16 %. Данная возрастная структура может быть достигнута постепенно за 30–40 лет, т.е. к 2050–2060 году. При этом между 2031 и 2050 годах придется несколько ограничить величину расчетной лесосеки. Так как к этому возрасту современные средневозрастные приспевающие насаждения перейдут в категорию спелых, то их полная вырубка приведет к последующему резкому уменьшению объема лесопользования, что противоречит теории нормального леса. Повышение возраста рубки на один класс возраста позволяет сгладить проблему стабилизации расчетной лесосеки.

Оптимальное распределение по группам и классам возраста, основанное на экологической спелости леса, существенно отличается от существующей возрастной структуры сосновых лесов.

Для приведения возрастной структуры лесов к оптимальному состоянию требуется существенно повысить долю молодняков и спелых древостоев. Учитывая, что рубки леса в Беларуси строго регламентированы, сделать это очень сложно. Среди мероприятий, которые могут улучшить возрастную структуру сосновых лесов, можно отметить следующее:

- увеличение доли молодняков;
- регулирование расчетной лесосеки по сосновому хозяйству для ее некоторого уменьшения в 2040–2060 гг. с целью выравнивания возрастной структуры.

Повышение возраста рубки до 6 класса возраста не приведет к существенному сокращению расчетной лесосеки. Дело в том, что в настоящее время древостои в эксплуатационных лесах, которые вырубаются в 5 классе возраста, должны составлять 18% от площади всех насаждений хозсекции. При новой возрастной структуре древостои 6 класса возраста, которые будут поступать в рубку, составляют 16% от всех лесов хозсекции. При этом, некоторое уменьшение площадей лесов, поступающих в рубку, должно компенсироваться дополнительным приростом за 20 лет. При этом полнота при переходе от 5 к 6 классу возраста уменьшаться не должна, что соответствует правилам рубок леса в лесах Беларуси [103].

Все перечисленные мероприятия требуют значительных затрат и длительного времени проведения. Учитывая это, оптимиза-

Заключение 121

ция возрастной структуры древостоев возможна не ранее 2050-2060 гг. Для осуществления этого мероприятия необходимо разработать специальную программу поэтапного выполнения отмеченных мероприятий с разбивкой их по лесхозам. Это можно делать в процессе проведения лесоустройства при разработке лесоустроительных проектов.

#### 5.4. Заключение

Обобщая вышеизложенное, приходим к следующим выводам.

- 1. Несмотря на обширные и глубокие исследования по депонированию углерода лесами и его влияния на климат планеты, многие вопросы освещены недостаточно. К ним относятся определение запасов и приростов углерода древостоями Беларуси в разрезе классов возраста и перспективы этого накопления. Поэтому настоящее исследование является актуальным.
- 2. Общие запасы углерода, депонированного сосновыми древостоями, составляют 230,5 млн. тонн. Наибольшее накопление углерода наблюдается в 3 (65,3 млн. тонн), 4 (97,2 млн. тонн) и в 5 классе возраста (43,1 млн. тонн). Молодняки, в силу их небольших средних запасов на 1 га и относительно небольших площадей, накапливают значительно меньше углерода: 1 класс – 2,9 млн. тонн, 2 класс – 11,8 млн. тонн. Начиная с 6 класса возраста накопление углерода резко уменьшается из-за небольших площадей сосняков в этом возрасте. Уменьшение площади сосняков в старшем возрасте приводит к тому, что среднее изменение запаса углерода в стволовой древесине растущего насаждения начинает уменьшаться уже в 5 классе возраста и продолжается в остальных классах возраста. В среднем для сосновых древостоев текущее ежегодное изменение запаса углерода остается почти стабильным (15 тыс. тонн). Увеличение расчетной лесосеки будет приводить к сокращению высоковозрастных древостоев и уменьшению ежегодного депонированного углерода в стволовой древесине.
- 3. Годичный текущий прирост углерода по классам возраста включает в себя и углерод, депонированный в отпаде, что составляет 8 млн. тонн или 4 % от углерода, остающегося в стволовой древесине.

- 4. На 01.01.2031 года запасы углерода в сосновых древостоях практически остаются стабильными. Уменьшение общих запасов углерода незначительное и составляет всего 2 %. Это вызвано тем, что основные накопители углерода 3, 4 и 5 классы возраста имеют достаточно большие площади, и расчетная лесосека к 2030 году существенно не увеличивается.
- На 01.01.2031 года среднее изменение запаса углерода на 1 га по классам возраста также изменилось незначительно: от 15,4 до 21,4 тыс.тонн. После 2030 года изменения накопления углерода в сосновых древостоях будет более существенными в силу того, что значительно увеличится расчетная лесосека, а запасы насаждений 3 и 4 классов возраста уменьшатся.
- 5. В настоящее время возрастная структура сосновых древостоев не соответствует теории нормального леса, т.к. имеется большой недостаток молодняков и определенный недостаток спелых древостоев при преобладании средневозрастных насаждений. Даже оптимальное распределение древостоев по классам возраста в соответствии с теорией нормального леса при действующих возрастах рубки не гарантирует максимальное накопление углерода в силу того, что возрасты рубки установлены по технической спелости на крупную и среднюю деловую древесину, и не отражают возможность накопления максимальных запасов древесины по хозсекции за весь период жизни древостоя.
- 6. Максимальное накопление углерода в целом по сосновой хозсекции возможно при установлении возрастов рубки по экологической спелости. Экологическая спелость леса определяется по максимальному среднему приросту углерода за весь период жизни древостоя на всей площади хозсекции.
- 7. Экологическая спелость древостоев сосны соответствует 6 классу возраста, т.е. 101-120 лет.
- 8. В соответствии с экологической спелостью леса и теорией нормального леса оптимальное распределение древостоев по классам возраста следующее: 1 класс возраста 18 %, 2 17%, 3 17 %, 4-16 %, 5-16 %, 6 класс возраста 16 %.
- 9. Оптимальная возрастная структура сосновых древостоев может быть достигнута не ранее 2050-2060 годов.
- 10. Для достижения оптимальной возрастной структуры сосновых древостоев между 2031 и 2050 годами придется несколько ограничить величину расчетной лесосеки. Так как к этому возрас-

Заключение 123

ту современные средневозрастные приспевающие насаждения перейдут в категорию спелых, то их полная вырубка приведет к последующему резкому уменьшению объема лесопользования, что противоречит теории нормального леса.

- 11. Для увеличения депонирования углерода сосновыми насаждениями и оптимизации их возрастной структуры возможно проведение следующих мероприятий:
- посадка культур сосны на лесосеках, где вырублены березовые древостои. До 2031 года можно ожидать вырубки 500 тыс. га березовых древостоев (230 тыс. га спелых и около 200 тыс.га приспевающих, которые за 10 лет перейдут в спелые). Из этого количества культуры сосны можно создавать примерно на половине этой площади, а может и больше, по 10–15 тыс. га ежегодно;
- реконструкция малоценных березовых древостоев. Общий резерв реконструкции может составлять 10–15 тыс.га. Учитывая, что это мероприятие дорогостоящее, реальный объем реконструкции, видимо, не превысит 3–5 тыс. га;
- возможно посадка культур сосны на землях, в настоящее время не покрытых лесом, и не лесных. Резервы здесь не особо большие, но могут составить до 3 тыс.га в год.

Таким образом, общее увеличение площадей сосновых древостоев может составить 16–21 тыс.га ежегодно. Возможно, создание сосновых культур на местах еловых, осинных и сероольховых вырубок в южной (на месте ели) и северной (на месте северной ольхи) областях.

- регулирование расчетной лесосеки по сосновому хозяйству для ее некоторого уменьшения в 2040–2060 гг. При этом расчетная лесосека при возрасте рубки в 6 классе возраста будет примерно такой же, как и прежде. Так как спелых древостоев при оптимальном распределении насаждений по теории нормального леса при возрасте рубки в 5 классе возрасте должно быть 18 %, а в 6 классе возраста 16 %. Некоторое уменьшение площади спелых древостоев должно компенсироваться текущим приростом за 20 лет.
- 12. Все перечисленные мероприятия требуют значительных затрат и длительного времени проведения. Учитывая это, оптимизация возрастной структуры древостоев возможна не ранее 2050-2060 гг. Для осуществления этого мероприятия необходимо разработать специальную программу поэтапного выполнения отмечен-

ных мероприятий с разбивкой их по лесхозам. Это можно делать в процессе проведения лесоустройства при разработке лесоустроительных проектов.

13. Леса Беларуси представляют собой важный естественный возобновляемый экономический ресурс. Беларусь вынуждена по возможности максимизировать вырубку лесов с целью реализации на внутреннем и внешнем рынках древесины и изделий из нее. Поскольку максимизация накопления углерода лесами Беларуси приводит к некоторому сокращению объемов лесопользования в силу уменьшения расчетной лесосеки, то проведение мероприятий по увеличению депонирования углерода должны быть согласованы с возможной международной компенсацией (за счет реализации углеродных квот) Беларуси за экономические потери из-за недобора древесины. Только в этом случае будет целесообразно максимально использовать возможность накопления углерода лесами.

#### ВЛИЯНИЕ ПОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЛЕСАМИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

В соответствии с [131, 132] предусматривается оптимизация породного и возрастного состава насаждений. Оптимизацию породного состава насаждений предусматривается осуществлять на основе программ перехода к оптимальной породной структуре лесов в разрезе ГПЛХО и лесхозов, что имеет важное значение для устойчивого управления лесами, рационального лесопользования и лесовосстановления [139]. Исходя из этого важно знать, как этот переход по оптимизации породного состава скажется на углеродном балансе лесов Беларуси.

#### 6.1. Сравнительный анализ поглощения углекислого газа насаждениями различных пород

Общая площадь земель лесного фонда на 01.01.2017 г. [133] составляет 9,57 млн. га, из них покрытые лесом земли, 8,26 млн. га или 86,3%. Лесистость территории Республики Беларусь составляет 39,8%. В составе лесов Республике Беларусь насчитывается около 20 видов древесных пород, основными из которых являются: сосна (50,2% от лесопокрытой площади и 55,6 от запаса), ель (9,3% от лесопокрытой площади и 11,1% от запаса), дуб (3,4% от лесопокрытой площади и 2,9% от запаса), береза (23,1% от лесопокрытой площади и 18,6% от запаса), ольха черная (8,6% от лесопокрытой площади и 7,8% от запаса), осина (2,2% от лесопокрытой площади и 2,1% от запаса), прочие породы (3,2% от лесопокрытой площади и 1,9% от запаса). Средний возраст лесов Беларуси – 55 лет, средний бонитет 1,6.

Для дальнейших расчетов приняты доли участия основных древесных пород в лесопокрытой площади по запасу (таблица 34).

Таблица 34 Содержание углерода в фитомассе лесов Республики Беларусь

Шифр	Наименование пулов углерода	Содержание углерода на 01.01.2017, тыс. тС / %
Пул 1, Сс	Содержание углерода в фитомассе сосновой формации Республики Беларусь	375192,2 54,3
Пул 2, Се	Содержание углерода в фитомассе еловой формации Республики Беларусь	69127,4 10,0
Пул 3, Сд	Содержание углерода в фитомассе дубовой формации Республики Беларусь	30245,1 4,4
Пул 4, Сб	Содержание углерода в фитомассе березовой формации Республики Беларусь	140782,3 20,4
Пул 5, Солч	Содержание углерода в фитомассе черноольховой формации Республики Беларусь	<u>56231,5</u> 8,1
Пул 6, Сос	Содержание углерода в фитомассе осиновой формации Республики Беларусь	11794,7 1,7
Пул 7, Спроч.	Содержание углерода в фитомассе прочих формаций Республики Беларусь (лиственничной, грабовой, ясеневой, кленовой, ильмовых, сероольховой, липовой, тополевой, древовидноивовой, яблоневой и проч.)	7568,6 1,1
Пул 8, Сдр.	Содержание углерода в стволовой древесине лесов Республики Беларусь	477823,5 69,2
Пул 9, Ссч	Содержание углерода в сучьях и ветвях древостоев Республики Беларусь	89289,1 12,9
Пул 10, Схв	Содержание углерода в хвое или листьях древостоев Республики Беларусь	33247,1 4,8
Пул 11, Спбм	Содержание углерода в корнях (подземной биомассе) лесной экосистемы Республики Беларусь	82999 <u>,7</u> 12,0
Пул 12, Спдр, пдл.	Содержание углерода в подросшем подлеске лесов Республики Беларусь	886,2 0,1
Пул13, Сжнп	Содержание углерода в живом напочвенном покрове лесов Республики Беларусь	6696,2 1,0
Пул 14, Сфит.	Содержание углерода в фитомассе лесов Республики Беларусь	690941,8 100

Расчет общего депонирования углерода древесными породами и компонентами насаждений (таблица 34) выполнен по [6], кото-

рая адаптирована для условий Республики Беларусь. Из таблицы 34 видно, что:

- наибольшее содержание углерода (54,3%) находится в сосновой формации, поскольку эта формация преобладает в лесах Республики Беларусь;
- основная доля углерода находится в стволовой древесине (69,2%);
- общее содержание углерода в фитомассе лесов Республики Беларусь составляет 690941,8 тыс. т. или 690,9 млн. т. и увеличилось по сравнению с 2000 г. на 56,9% [135].

### 6.2. Сравнительный анализ поглощения углекислого газа различными породами

Запас углерода в фитомассе зависит от древесной породы (таблица 35). Запас углерода в фитомассе древесных пород определен исходя из его запаса на 1 м<sup>3</sup> стволовой древесины по компонентам лесного насаждения и подпологовых растений [6].

Таблица 35 **Запас углерода в фитомассе различных древесных пород** 

Древесная порода	Запас углерода в фитомассе в кг/м <sup>3</sup>	Количество поглощенного $CO_2$ т/м <sup>3</sup>		
Сосна	380,5	1,38		
Ель	352,5	1,29		
Дуб	590,5	2,14		
Береза	426,5	1,54		
Ольха черная	408,5	1,49		
Осина	319,5	1,15		

Наибольшее депонирование углерода происходит в фитомассе дуба (590,5 кг/м³), наименьшее в фитомассе осины (319,5 кг/м³), соответственно и поглощается больше углекислого газа дубом (2,14 т  $CO_2$ ) и наименьшее осиной (1,15 т  $CO_2$ ). На примерно такое количество поглощенного углекислого газа (1,5–1,8 т) для образования 1 т древесины указывает [136]. Таким образом, древесные породы по углерододепонирующей эффективности можно распо-

ложить в порядке убывания в следующей последовательности: дуб, береза, ольха черная, сосна, ель, осина.

Таким образом, большей углерододепонирующей эффективностью обладают дуб, береза и ольха черная, меньшей – сосна, ель и осина.

Для определения углерододепонирующей эффективности насаждений мы рассчитали запас углерода на 1 га по древесным породам. Запас стволовой древесины на 1 га взят из [96] для II класса бонитета, как наиболее распространенного в лесах Республики Беларусь (средний 1,6 или II). Расчет произведен по возрастам рубок главного пользования для II группы лесов (середина класса возраста рубки установленного для древесных пород в Республике Беларусь) для сосны и ели – 90 лет, осины – 45 лет, ольхи черной – 55 лет, березы – 65 лет, дуба – 110 лет. На основании этих расчетов получены результаты углеродного баланса по изучаемым породам и углерододепонирующей эффективности насаждений, при условии их замены мягколиственных на хвойные и твердолиственные.

Данные по углерододепонирующей эффективности насаждений приведены для возраста рубки главного пользования по осине 45 лет, т.е. взят возраст, когда насаждения не были затронуты рубками главного пользования.

Как видно из таблиц 36–40, ранг насаждений по эффективности углерододепонирования несколько отличается от ранга по древесным породам: дуб, ольха черная, береза, сосна, осина, ель.

Таблица 36 Депонирование углерода насаждениями древесных пород на возраст рубки главного пользования по осине (45 лет)

		Д	Баланс углерода, тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас, м <sup>3</sup> /га	63,5	246,6	210,1	246,6	296,4	284,2	-6,8	84,0
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	100,3	85,9	124,1	105,2	121,1	90,8		

Таблица 37 Депонирование углерода насаждениями древесных пород на возраст рубки главного пользования по ольхе черной (55 лет)

	Древесные породы							Баланс углерода, тС/га				
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готовки древе- сины	с заго- товкой древе- сины				
Запас, м <sup>3</sup> /га	300,0	291,0	239,0	263,0	320,0	28,0	_	_				
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	114,2	102,6	141,1	112,2	130,7	8,9	236,8	106,1				

Таблица 38 Депонирование углерода насаждениями древесных пород на возраст рубки главного пользования по березе (65 лет)

		Д	Баланс углерода, тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас, м <sup>3</sup> /га	353,0	356,0	284,0	290,0	363,0	90,0	_	363,0
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	134,3	125,5	167,7	123,7	148,3	28,8	126,7	275,0

Таблица 39 Депонирование углерода насаждениями древесных пород на возраст рубки главного пользования по хвойному хозяйству (90 лет)

		Д	Баланс углерода, тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас, м <sup>3</sup> /га	460,0	488,0	380,0	134,0	210,0	261,0	_	_
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	175,0	172,0	224,4	57,2	85,7	83,4	345,1	81,5

130

Таблица 40 Депонирование углерода насаждениями древесных пород на возраст рубки главного пользования по твердолиственному хозяйству (110 лет)

		Д	Баланс углерода тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас м <sup>3</sup> /га	98,0	45,0	438,0	227,0	320,0	126,0	-	_
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	37,2	15,9	258,6	96,8	130,7	40,3	43,9	-84,0

Так, если по древесным породам ранг дуба, сосны не изменился, то по другим породам изменился. Вместо березы на второе место переместилась ольха черная, на последнее ель.

Баланс углерода рассчитывался как разность между депонированным углеродом в фитомассе хвойных и твердолиственных насаждений и мягколиственных. Знак плюс означает положительный эффект от депонирования, знак минус наоборот — отсутствие эффекта. Баланс углерода без заготовки древесины имеется в виду, что стволовая древесина на момент расчета еще не вырублена и учитывается, с заготовкой она уже не учитывалась, как заготовленная в процессе рубки.

Как видно из таблицы 41, хвойные и твердолиственные породы по углерододепонирующей эффективности выше мягколиственных до возраста рубки главного пользования по дубу (110 лет).

Таблица 41 Баланс углерода при замене мягколиственных на хвойные и твердолиственные древесные породы (оптимизация породного состава)

Возраст рубки главного	Баланс углерода, тС					
пользования, лет	без заготовки древесины	с заготовкой древесины				
45	-6,8	84				
55	106,1	236,8				
65	126,7	275,0				
90	345,1	81,5				
110	43,9	-84,0				

После заготовки стволовой древесины по хвойному и твердолиственному хозяйствам углерододепонирующий эффект оптимизации снижается со 110 лет. Мы рассчитали, какой эффект получится при дальнейшем лесовыращивании хвойных, твердолиственных пород (таблицы 42, 43).

Таблица 42 Депонирование углерода насаждениями древесных пород (120 лет)

		Д	Баланс углерода, тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас, м <sup>3</sup> /га	154	104	29	263	42	164	_	_
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	58,6	36,7	17,1	112,2	17,2	52,3	-69,3	_

Таблица 43 Депонирование углерода насаждениями древесных пород (130 лет)

		Д	Баланс углерода, тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас, м <sup>3</sup> /га	212	183	107	290	107	231	-	-
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	80,7	64,5	63,1	123,6	43,7	73,8	-32,8	90,8

Как видно из таблиц 42 и 43, положительный углеродный баланс наступит в 130 лет после рубки березы во втором обороте рубки. Был рассчитан углерододепонирующий эффект за второй оборот рубки по хвойному хозяйству за 180-летний период (таблица 44). Как видно, за второй период рубки главного пользования по хвойному хозяйству углерододепонирующий эффект этих пород будет выше, чем мягколиственных. Затем опять повторится снижение углерододепонирующей эффективности хвойных насаждений.

Таблица 44 Депонирование углерода насаждениями древесных пород (второй оборот рубки 180 лет)

		Д	Баланс углерода, тС/га					
Показатели	сосна	ель	дуб	бере-	ольха черная	осина	без за- готов- ки дре- весины	с заго- товкой древе- сины
Запас м <sup>3</sup> /га	460	488	380	246	15	261		
Содержание углерода в фитомассе, тС/га	175,0	172,0	224,4	104,9	6,1	83,4	377,0	113,4

При рубке березы во втором обороте рубки (таблица 43) углерододепонирующая эффективность хвойных и твердолиственных становится выше, чем у мягколиственных пород. С учетом этой закономерности был рассчитан эффект углерододепонирования хвойных и твердолиственных древесных пород, приняв возраст рубки главного пользования 100 лет по хвойному и твердолиственному хозяйству и половину этого возраста по мягколиственному (таблица 45).

Таблица 45 Депонирование углерода насаждениями древесных пород в 100 лет (заготовка мягколиственных в 50 лет)

		Д	Баланс					
			углерода, тС/га					
Показатели							без за-	с заго-
Показатели	сосна ель дуб береза ольха черная осина	OCIMIA	готов-	товкой				
		дуо	осреза	черная	осина	ки дре-	древе-	
							весины	сины
Запас м <sup>3</sup> /га	492	527	412	246	297	288	_	_
Содержание уг-								
лерода в фито-	187,2	185,8	243,3	104,9	121,3	92,0	298,1	-
массе, тС/га								

Как видно из таблицы 45, эффект по углерододепонированию получился бы наиболее высокий, 298,1 тС, это с одной стороны, а с другой после рубки главного пользования начался бы новый цикл лесовыращивания с постоянным эффектом при оптимизации породного состава и ликвидации провала по углерододепонирую-

щей эффективности хвойных и твердолиственных древесных пород от 110 до 130 лет.

В целом, следует отметить, несмотря на возраст рубок главного пользования оптимизация породного состава повысит углерододепонирующий эффект лесов Республики Беларусь.

Вопросу оптимизации породного состава лесов посвящено ряд исследований [139, 122, 141], которыми рекомендована следующая оптимальная породная структура лесов Республики Беларусь (таблица 46).

Таблица 46 Оптимальная структура породного состава лесов Республики Беларусь

	Оптимальная структура лесов в %								
y	<b>С</b> войны	e	Тверд	цолистве	енные	N	<b>Лягколис</b>	ственны	e
Сосна	Ель	Итого	Дуб	Ясень	Итого	Береза	Ольха	Осина	Итого
Сосна	ГЛЬ	V11010	дуо	и пр.	111010	Береза	черная	и пр.	Y11010
			по да	нным Ф	.П. Мой	сеенко			
60,0	15	75	5,0	_	5,0	8,0	7,0	5,0	20,0
	по данным И.Д.Юркевича								
61,5	12,3	73,8	6,5	1,4	7,9	7,5	6,8	4,0	18,3
			по Д	цанным	А.Д. Ян	ушко			
62,4	15,4	77,8	6,6	0,7	7,3	5,8	7,2	1,9	14,9
			по да	нным О	.А. Атро	ощенко			
58,3	14,2	72,5	4,7	_	4,7	11,1	7,6	0,9	19,6
			3,2	2% – про	очие пор	оды			
	существующая структура лесов по породам								
	(Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь)								
50,8	10,4	61,2	3,7	_	3,7	21,7	8,1	2,1	31,9
	·		3,2	2% − про	очие пор	оды	·		

Из таблицы 46 видно, что при оптимизации породного состава все авторы рекомендуют увеличить долю сосны, ели и дуба за счет сокращения доли участия березы, ольхи черной и осины.

Для оценки углерододепонирующей эффективности оптимизации породного состава лесов, мы рассчитали, какой эффект по депонированию углерода получится при реализации программы оптимизации породного состава лесов Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь (таблица 46), используя закономерности накопления углерода (таблица 36).

Как видно из таблицы 47, оптимизация породного состава лесов Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь не при-

ведет к существенному изменению углеродного баланса лесов (отклонение со знаком «—» менее одного процента от общего запаса углерода в фитомассе лесов Республики Беларусь).

Таблица 47 Депонирование углерода насаждениями при оптимизации породного состава

Померовтоли	Древесные породы (в числителе – запас, м <sub>3</sub> /га в возрасте 90 лет, в знаменателе – тС/га)							
Показатели	сосна	ель	дуб	береза	ольха черная	осина		
Площадь оптимизированного породного состава га/%	<u>532435</u> 7,4	273669 3,8	<u>69927</u> 1	<u>-755223</u> -10,5	$\frac{-37514}{-0,5}$	<u>-83654</u> -1,2		
Запас м <sup>3</sup> /га в 90 лет при I,6 бонитете	263,5	243,6	210,1	246,6	296,4	284,2		
Содержание тыс. тС	+53382,9	+23499,7	+8675,4	-79430,5	-4498,6	-7595,2		

Баланс углерода при замене мягколиственных пород на хвойные и твердолиственные — 5966,3 тыс. т или 0,86% от общего запаса углерода в лесах Республики Беларусь.

Это при условии, что осина при рубках главного пользования не вырублена. Если же принять, что осина будет вырублена, тогда получится, что углеродный баланс станет положительным. Так, если при учете осины баланс депонированного углерода между породами, которыми заменили (сосна, ель, дуб) на мелколиственные породы (береза, осина, ольха черная) составил — 5966,3 тыс. т., то если исключить депонированный углерод, вследствие рубки главного пользования осины в 45 лет он составит (85558 тыс. тС – 83929 тыс. тС) + 1628,9 тыс. тС.

Таким образом, подтверждается ранее сделанный вывод об эффективности углерододепонирования при оптимизации породного состава лесов Республики Беларусь.

Несмотря на локальные мероприятия на территории лесов Республики Беларусь основным критерием положительного углеродного баланса лесов остается «Золотое правило лесопользования», о том, что ежегодный объем заготовки древесины должен быть ниже ежегодного накопления ее. Так, на 01.01.2017 г. общее среднее изменение запаса составило 32,6 млн. м<sup>3</sup>, а вырублено

21,07 млн. м<sup>3</sup>. Тогда, если принять средний коэффициент перевода кубомассы древесины в тонны депонированного углерода, рассчитанного как средневзвешенный по породной структуре лесов Республики Беларусь — 0,3898, то получится, что за 2016 г. в лесах Республики Беларусь было депонировано 12707 тыс. тС, а в заготовленной ушло 8213 тыс. тС. Баланс углерода составит +4494 тыс. тС за 2016 г. Вместе с тем, следует отметить, что ежегодное изменение текущего запаса в лесах Республики Беларусь [133] имеет тенденцию роста, и это при том, что ежегодно изымается часть древесины по всем видам рубок, поэтому в целом несмотря на локальные изменения в структуре породного состава лесов не окажут существенного влияния на депонирование углерода, если будет выполняться «Золотое правило лесопользования» в лесах Республики Беларусь — ежегодная вырубка леса меньше его прироста за год.

Следует отметить, что в Стратегическом плане развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы [131], запланировано довести долю сосны в покрытых лесом землях до 60% (по программе оптимизации породного состава 58,3% [139]).

Однако, для реализации такими темпами данной программы, ежегодно надо заменять березовые насаждения на сосновые на площади 35 496 га ежегодно.

По прогнозу объем лесокультурного фонда до 2030 года ежегодно будет составлять от 29 810 га (2016–2020 гг.) до 37 320 га (2026–2030 гг.). Отсюда видно, что запланированная оптимизация предусматривается на площади, превышающей лесокультурный фонд на этот период. По нашим расчетам это можно реализовать за более длительный период не нарушая лесоводственно-экологические требования лесопользования.

Известно, что [131] на период (2016–2020 гг.) ежегодный лесокультурный фонд составит по березовому хозяйству 6 886 га.

На вторую пятилетку соответственно 8 334 га, на третью  $(2026-2030 \, \text{гг.}) - 8 \, 621 \, \text{га}$ .

Если учесть, что 80% этой площади заменятся сосной, как предусмотрено в программе оптимизации породного состава [139], то эти площади составят за год: 2016–2020 гг. –  $5\,509$  га, 2021–2025 гг. –  $6\,667$  га, 2026–2030 гг. –  $6\,897$  га. Тогда за период 2016–2020 гг. будет произведена оптимизация породного состава по березе на площади –  $27\,545$  га, за период 2021–2026 гг. –  $33\,335$  га, за пери-

од 2026—2030 гг. — 34 485 га. И всего за период 2016—2030 гг. — 95 365 га или в среднем за год 6 358 га. Соответственно по пятилетиям будет увеличиваться доля сосны в лесопокрытой площади 2016—2020 гг. на 0,4%, 2021—2025 гг. — 0,5%, 2026-2030 гг. — 0,5%. Итого за период 2016—2030 гг. на 1,4%. На эту величину уменьшится доля березовых насаждений. Тогда в Стратегическом плане развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 гг. [131] надо внести изменения:

- -2015–-2020 гг. доля сосны 50,6%, березы 22,7% в лесопокрытой площади;
  - -2021-2025 гг. доля сосны 51,1%, березы 22,2%;
  - -2025–2030 гг. доля сосны 51,6%, березы 21,7%.

В связи с этим следует заключить:

- по углерододепонирующей эффективности древесные породы различаются между собой. Больше всего содержания углерода в м<sup>3</sup> фитомассы дуба, березы и ольхи черной и ниже в фитомассе сосны, ели, осины, что надо учитывать при отборе деревьев в рубку при рубках ухода за лесом;
- при оценке углерододепонирующей эффективности насаждений надо учитывать их запас на 1 га и возраст;
- оптимизация породного состава лесов Беларуси приведет к повышению углерододепонирующей эффективности их;
- для максимизации депонирования углерода фитомассой лесов Республики Беларусь изменить возраст рубок главного пользования: для хвойных и твердолиственных до 100 лет, мягколиственных до 50 лет
- темпы оптимизации породного состава лесов Республики Беларусь следует пересмотреть в соответствии с лесокультурным фондом на этот период.

#### 6.3. Оценка депонирования органического углерода лесными почвами

Определение органического углерода в лесной подстилке производилась по методике [6].

В таблице 48 запас по древесным породам взят как средний лесов Республики Беларусь на 01.01.2017 г., и площадь лесов по породам также на эту дату.

Накопление органического  $V_{c_{
m I}}$  – запас Преобладающая Площадь лестволовой углерода в лесной подстилке древесная сов по породревесины, порода в % дам, га тыс. тС  $\mathbf{m}^3/\mathbf{r}\mathbf{a}$ 238 4144589 45176,0 79.8 сосна 255 769665 8081.5 14,3 ель дуб 180 284334 654,0 1,2 173 1909689 1336,8 2,4 береза ольха черная 195 707211 565,8 1,0 осина 201 183967 110,4 0,2 прочие 133 259961 623,9 1,1 Итого 8259416 56548,4 100,0

Таблица 48 Накопление органического углерода в лесной подстилке насаждений Беларуси

Как видно из таблицы 48, наибольшее количество органического углерода содержится в лесной подстилке сосновых и еловых насаждений (94,1%), поскольку доля участия в породной структуре лесов их выше, а также в силу более медленного разложения лесной подстилки в сосновых и еловых лесах [142 и др.].

Определение содержания органического углерода в лесных почвах производилось по методике [6]. Площадь типов леса взяты из [133].

Как видно из таблицы 49, к типам леса с максимальным потенциалом абсорбции парниковых газов относятся крапивная серия типов леса (489,36 тС/га), багульниковая (274,35), долгомошная (261,51) и др.

Наибольшее накопление углерода имеет место в насаждениях папоротниковой (14,95%), черничной (11,95%), долгомошной (11,45%) и осоковой (11,35%) серий типов леса, т.е. в типах леса на полугидроморфных и гидроморфных по увлажнению почвах.

В целом следует заключить, что:

- доля лесной подстилки в депонировании углерода составляет
   3,4% от общего его содержания в фитомассе и почвах;
- основная доля депонированного углерода 94,1% находится в лесной подстилке хвойных лесов;
- максимальным потенциалом абсорбции  ${\rm CO_2}$  обладают крапивный, багульниковый, приручейно-травяной, долгомошный и другие типы леса.

Таблица 49 Накопление органического углерода в почвах лесопокрытых земель Республики Беларусь на 01.01.2017г.

C	Плог	цадь	Содержан	Содержание углерода в почве			
Серии типов лесов	га	в %	в тС/га	в тыс. тС	в %		
Лишайниковая	20293	0,25	16,92	343,4	0,04		
Вересковая	191446	2,32	16,92	3239,3	0,35		
Брусничная	14596	0,18	18,40	268,6	0,03		
Мшистая	1715788	21,14	31,01	54128,4	5,84		
Орляковая	1203000	14,57	40,55	48778,7	5,26		
Кисличная	1231118	14,92	61,59	75823,1	8,18		
Черничная	1265686	15,32	87,4	110669,1	11,95		
Долгомошная	405717	4,91	261,51	106098,4	11,45		
Багульниковая	111073	1,34	274,35	30472,9	3,29		
Осоковая	439461	5,32	235,05	103295,3	11,15		
Сфагновая	10067	0,12	235,05	2366,2	0,26		
Осоково-сфагновая	176311	2,13	254,18	47372,6	5,11		
Снытевая	258568	3,13	144,81	37443,2	4,04		
Крапивная	131680	1,59	489,36	64438,9	6,95		
Папоротниковая	605148	7,33	228,75	138427,6	14,95		
Приручейно-травяная	55625	0,67	262,35	14593,2	1,57		
Луговиковая	1750	0,02	228,75	400,3	0,04		
Прируслово-поймен- ная	10379	0,13	18,40	190,9	0,02		
Злаково-пойменная	8949	0,11	66,69	2350,2	0,25		
Ольхово-пойменная	4191	0,05	228,75	958,7	0,10		
Ясеново-пойменная	356	0,005	144,81	51,6	0,01		
Широкотравно-пой- менная	1705	0,02	144,81	246,9	0,03		
Пойменная	7799	0,09	18,40	143,5	0,02		
Болотно-разнотравная	135	0,003	228,75	30,9	-		
Таволговая	216808	2,62	228,75	49594,8	5,35		
Осоко-травяная	91162	1,10	254,18	23171,6	2,50		
Болотно-папоротни- ковая	40447	0,49	228,75	9252,3	1,00		
Касатиковая	5417	0,06	228,75	1239,1	0,13		
Ивняковая	4628	0,06	254,18	1176,3	0,13		
Злаковая	113	0,002	228,75	25,8	-		
Итого	8259416	100,00	5160,92	926591,8	100,0		

## 6.4. Предложения по оптимизации породной структуры лесного фонда с максимизацией поглощения углекислого газа

Для повышения уровня абсорбции углекислого газа древесными породами следует учитывать, что:

- при отборе деревьев в рубку при рубках ухода за лесом надо ориентироваться на биологические особенности древесных пород по углерододепонирующей эффективности;
- при оценке углерододепонирующей эффективности насаждений надо учитывать их запас на 1 га и возраст рубки главного пользования;
- оптимизация породного состава лесов Беларуси [9] приведет к существенному повышению углерододепонирующей эффективности их;
- максимизировать углерододепонирующий эффект оптимизации породного состава лесов Республики Беларусь возможно, пересмотрев возраст рубок главного пользования по хвойному и твердолиственному хозяйству до 100 лет в лесах ІІ группы, по мягколиственному до 50 лет, по І группе лесов соответственно класс возраста выше;
- в связи с глобальным изменением климата, особенно для юга Республики Беларусь [5], а также аномальными погодными условиями 2016 г., следует организовать широкомасштабные эколого-биологические исследования для разработки мероприятий по повышению устойчивости лесов на данных территориях;
- для повышения эффективности по регулированию породной структуры лесов требуется разработка на основе ГИС «Лесные ресурсы» программного продукта прогноза углерододепонирующей эффективности проектируемых лесных насаждений;
- пересмотреть объемы оптимизации породной структуры лесов с заменой сосны на березу [131], поскольку они явно завышены. С целью повышения уровня поглощения углекислого газа Республики Беларусь предусматривается проведение следующих мероприятий на перспективу (таблица 50).

Согласно таблице 50, доля сосновых насаждений к 2030 году составит 51,6% в лесопокрытой площади, а березовых – 21,7%.

Таблица 50 Мероприятия по оптимизации породной структуры лесного фонда Республики Беларусь

No	Have toward von a regregative	Реал	изация по эт	гапам
$\Pi/\Pi$	Наименование мероприятий	2018–2020	2021–2025	2026–2030
1	Разработать рекомендации по по-	+	+	_
	вышению устойчивости лесов Рес-			
	публики Беларусь			
2	Разработать программный продукт	+	+	_
	на основе ГИС «Лесные ресурсы»			
	по прогнозу углерододепонирующей			
	эффективности проектируемых лес-			
	ных насаждений			
3	Оптимизировать видовую структу-			
	ру лесов в разрезе преобладающих			
	пород (доля в покрытых лесом			
	землях):			
	сосна	50,6	51,1	51,6
	береза	22,7	22,2	21,7

В целом, следует отметить, что оптимизация породного состава лесов Республики Беларусь приведет к увеличению экономической эффективности их при сохранении экологически ответственного и социально-ориентированного управления лесами и лесопользованием.

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ АБСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

### 7.1. Анализ наилучших мировых практик по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота)

Леса планеты и их роль в глобальном круговороте углерода с каждым годом приобретают для человечества все большее значение. Развитие промышленности, сжигание ископаемых видов топлива, вырубка лесов и другая деятельность человека привела к нарушению углеродного баланса. В связи с этим мировое сообщество озабочено решением этой проблемы и предпринимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенной деятельностью. На долю лесов, являющихся естественным стабилизатором газового состава атмосферы за счет фотосинтетического связывания  $CO_2$  растительностью, приходится примерно 80% углерода, поглощаемого наземной биотой. За последние несколько десятилетий мировые леса поглотили до 30% ежегодных глобальных антропогенных выбросов  $CO_2$ , примерно столько же, сколько океаны. Поглощающая способность  $CO_2$  лесами различных стран существенно отличается (рисунок 15).

Однако разработка и реализация мероприятий по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода, снижению его выбросов лесными экосистемами и адаптации лесного хозяйства находится на начальном этапе [143–151].

В мировой практике существует несколько стратегий, способствующих поглощению и удержанию углерода лесами, среди которых:

– сохранение существующих и создание новых лесов (удержание накопленного углерода за счет сохранения биомассы и почвенного углерода в существующих лесах, в том числе старовозрастных, борьба с сокращением лесных площадей, увеличение доли особо охраняемых природных территорий; охрана и защита лес-

ных насаждений; лесоразведение, в том числе на нарушенных землях и др.);

- совершенствование лесохозяйственных мероприятий для увеличения количества накапливаемого углерода за счет его поглощения (увеличение древесных запасов за счет корректировки оборота рубки, повторяемости рубок ухода; увеличение прироста лесных насаждений, в т.ч. использование удобрений; применение экологически щадящих видов рубок, технологий лесозаготовок и др.);
- замещение материалов и ископаемого топлива (использование древесины для производства более долговечных изделий и конструкций вместо энергоемких бетона, стали и др. материалов и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо; совершенствование технологий деревообрабатывающих производств; использование древесины в качестве топлива, в т.ч. отходов лесозаготовок и деревообработки в качестве сырья для производства биотоплива и др.).

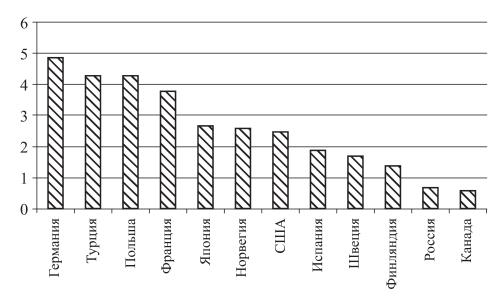


Рисунок 15. Поглощающая способность CO<sub>2</sub> лесами в развитых странах мира, т/га

По существу названные стратегии хорошо соотносятся с устойчивым лесоуправлением (рисунок 16) [148, 151, 152].

Результаты проводимых научных исследований с использованием моделей изменения климата противоречивы. В случае, если предположить, что спелые леса в будущем останутся чистыми поглотителями CO<sub>2</sub>, то природоохранные стратегии достаточно ак-

туальны, а если они становятся источниками углерода, увеличение лесозаготовок более перспективно. Поэтому, пока не будет более достоверных данных, необходимо придерживаться стратегий, которые направлены на увеличение как лесных запасов, так и лесозаготовок [151].

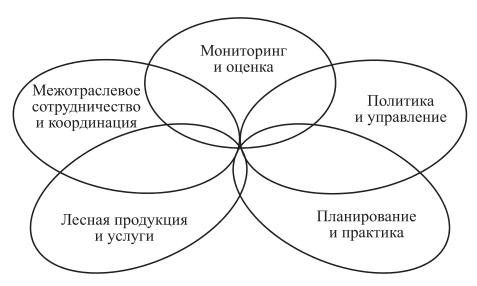


Рисунок 16. **Комплексный подход** к устойчивому лесоуправлению

Прогноз углерододепонирования лесами Центральной Европы показал, что изменение климата, в основном, будет отрицательно сказываться на накоплении углерода. При потеплении повышение продуктивности древостоев будет уравновешиваться потерями от участившихся повреждений леса болезнями, вредителями и другими негативными факторами (до 45% прироста). Анализ результатов многочисленных работ показал, что изменение климата и связанная с ним активизация повреждаемости и гибели лесов вследствие пожаров, ветровалов и буреломом, поражений вредителями может снижать их способность к накоплению углерода (на 38,5%) и выполнению других экологических функций при этом увеличивая биологическое разнообразие (на 35,6%) [153, 154].

Мероприятия, снижающие выброс парниковых газов в долгосрочной перспективе, могут быть экономически неэффективны в краткосрочной, что очень сильно влияет на принятие неотложных мер по сокращению эмиссий [155, 156].

На сохранение углеродного баланса за счет увеличения лесистости и значимость лесов не только в экономическом, но и эколо-

гическом плане для нашей планеты, ориентируется лесная политика многих стран мира [157].

Лесистость большинства европейских стран, кроме Австрии, Словении, Финляндии и Швеции, варьируется от 20 до 40%, в Голландии, Дании и Ирландии – она составляет около 10%. Леса Европы покрывают 44% ее площади, составляющей около 1 млрд. га, из которой почти 80% лесов расположено на территории России. Доступность лесов для заготовки древесины колеблется от 80 до 90% их площади, а в Восточной Европе составляет около 40%. За последние 15 лет лесная площадь европейского региона увеличилась на 13 млн. га (что сопоставимо с площадью Греции) за счет лесоразведения и естественного возобновления леса на землях, вышедших из сельскохозяйственного использования. По оценкам некоторых экспертов 74% лесов нарушены в результате деятельности человека, около 70% считаются полуестественными, примерно 4% относятся к искусственным лесам, а остальные 26% составляют малонарушенные лесные территории в отдаленных и труднодоступных районах Восточной и Северной Европы и России. Запас древесины в лесах также увеличивается. На протяжении примерно последних 20 лет он вырос в лесах Европы на 8,6 млрд. м<sup>3</sup> и составлял 112 млрд. м<sup>3</sup>, что соответствует всему запасу древесины в лесах Франции, Германии и Польши вместе взятых. Ежегодный прирост составлял в среднем 358 млн. м<sup>3</sup>, что эквивалентно всему запасу древесины Словении. Увеличение древесного запаса опережает рост лесных площадей, что означает увеличение прироста древесины на единице площади и может являться как результатом грамотного лесоуправления и лесопользования, так и изменением характеристик древостоев с возрастом [148, 158–161].

В среднем леса в европейских странах поглощают примерно 10% их суммарной эмиссии CO<sub>2</sub>. В большей части (98%) европейских лесов ведение хозяйства основывается на принципах устойчивого управления. Для сохранения баланса углерода очень важны охраняемые леса, что является предпосылкой для увеличения особо охраняемых природных территорий (около 0,5 млн. га ежегодно). Наибольшие площади охраняемых природных территорий выделены в Германии, Норвегии, Франции, Великобритании, Испании, Швеции, Польше, Австрии, Италии, Финляндии. Норвегия вкладывает на сохранение лесов (считая это самым быстрым и дешевым способом борьбы с глобальным потеплением) в разви-

вающихся странах намного больше средств, чем любая другая страна мира (например, с 2010 по 2012 годы на эти цели был выделен один миллиард долларов США). В Швейцарии более 60% лесов страны считаются охраняемыми [153, 161–185].

Важным вопросом является регулирование ведения лесного хозяйства на особо охраняемых природных территориях и их рекреационное использование. Поскольку за рубежом практикуется как государственная, так и частная собственность на леса, то законодательно прописываются вид и степень интенсивности лесохозяйственных мероприятий на охраняемых территориях, обязанности лесовладельца по их благоустройству. Если землепользователи не выполняют установленных законодательством положений, то к ним применяются определенные меры воздействия. Присвоение частным лесным владениям статуса особо охраняемых природных территорий часто носит обязательный характер, при этом стимулируется государством в виде выплат компенсации ущерба лесовладельцам. Для многих собственников, несмотря на ограничение возможностей лесопользования, срокам и способам лесовосстановления, статус особо охраняемых природных территорий выгоден, поскольку позволяет получать средства из федерального фонда на проведение необходимых мероприятий. На территориях, объявленных особо охраняемыми природными территориями, не допускается коммерческая эксплуатация лесов. В Германии сплошная рубка в защитных лесах может быть проведена только по решению соответствующих государственных органов. В защитных лесах Швейцарии запрещена любая деятельность, рубки и корчевка пней могут проводиться только по специальному разрешению. В Австрии на особо охраняемых природных территориях рубка деревьев, как правило, запрещена [148, 166–170].

Во всех странах Западной Европы действует законодательство в области охраны лесных территорий, причем природоохранная деятельность регулируется как внутренними законами страны, так и Европейского Союза. По степени строгости законов особо выделяются Швеция, Норвегия и Финляндия. Устойчивости лесного хозяйства в Финляндии способствуют национальные программы в лесной отрасли и законодательство (начиная с 1923 г.), которое запрещает уничтожение частного леса. Если после рубки не были проведены мероприятия по лесовозобновлению, лесопользование временно приостанавливается, а средства на эти це-

ли взимаются законодательным путем с лесовладельца. С другой стороны, государство вознаграждает денежной поддержкой или кредитами собственников, обеспечивающих постоянное воспроизводство древесины, хороший уход за лесом в плане поддержки многообразия лесов, заботы о здоровье леса и т. д. [162, 164, 166, 168, 171–173].

Некоторые исследования свидетельствуют о том, что интенсивность угледепонирования выше в лесах, где ведется лесное хозяйство (на 48%), в сравнении с природоохранными лесами. В тоже время, в природоохранных лесах почвенные запасы углерода в 2 раза выше, чем в управляемых, хотя потенциально управляемые леса могут накапливать большее количество углерода в почве, так как повреждения почвы во время проведения рубок приводят к усилению потерь углерода. Установлено, что даже 800-летние леса могут быть стоком углерода. По данным последних исследований, леса, растущие тысячелетиями на островах Северной Швеции, продолжают выполнять функцию стока углерода, депонируя его в почвенном горизонте. В этих лесах более 90% углерода сосредоточено в почве. Динамика структуры стоков углерода в древостое ели черной на Аляске показала, что содержание углерода в биомассе достигает своего максимума примерно через 200 лет, но общий запас углерода продолжает возрастать и спустя 500 лет благодаря депонированию в почве (рисунок 17) [152, 174–176].

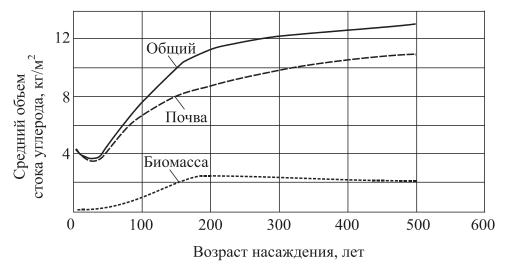


Рисунок 17. **Динамика структуры стоков углерода в древостое ели** 

Важным фактором, способствующим стоку углерода, являются лесоразведение и лесовосстановление. В 2010 г. около 7% мировых лесов являлись искусственными. В Ирландии, Дании, Бельгии, Нидерландах лесоводы предпочитают искусственный метод лесовозобновления, который дает возможность создать новые насаждения из деревьев лучшего качества. В Дании доля лесных культур составляет свыше 30% общей лесной площади, в Ирландии и Бельгии – более половины. Лесоразведение на бывших сельскохозяйственных землях повышает содержание углерода в почве [148, 174].

В процессе заготовки древесины большие ее объемы вместе с содержащимся в ней углеродом удаляются из леса. Значительная масса углерода содержится в растительном опаде, лесной подстилке и почве. В результате сплошной рубки к ним поступает больше света, тепла, кислорода, в особенности при значительных нарушениях напочвенного покрова и верхних слоев почвы. При этом ускоряются процессы разложения, что усиливает эмиссию углекислого газа. Это приводит к тому, что в лесах Швеции в течение 15-20 лет после рубки (даже если сразу после нее был посажен новый лес) лесосеки остаются нетто источниками углерода. Для того, чтобы депонирование углерода молодым лесом перевесило эмиссию почвенного углерода, требуется до двух десятилетий. Для полного восстановления бюджета углерода после рубки может потребоваться до 30-40 лет. Леса, в которых проводятся сплошные рубки и обработка почвы под лесные культуры, теряют при каждом обороте рубки значительную часть углерода. По мере роста леса запас углерода начинает медленно повышаться, но до следующей сплошной рубки не успевает восстановиться до уровня, который соответствует его содержанию в нетронутом лесу. Естественное лесовозобновление, минимальная обработка и повреждение почвы или минимальное (отсутствующее) воздействие на нее (например, выборочные рубки в разновозрастных насаждениях) приводят к меньшим потерям углерода. Для сохранения биоразнообразия и продуктивности почв следует избегать повреждения и перемешивания верхнего слоя почвы, рекомендуется оставлять не менее 25 шт./га деревьев диаметром более 15 см, равномерно расположенных по лесосеке. Для бедных почв рекомендуется оставлять 50 шт./га. Все старые пни и пни толщиной менее 15 см также должны быть оставлены. Рекомендуется сохранять разные древесные породы [152, 177–180].

Рубки в несколько приемов оказывают на потоки углерода совсем другое воздействие, нежели сплошные рубки. Если древесная растительность на почве всегда в той или иной степени сохраняется, то это позволяет избежать значительных эмиссий углерода. Общий объем эмиссии лесом углекислого газа слабо зависит от изъятия небольших объемов биомассы, поскольку оставшиеся на лесосеке деревья отвечают на ослабление конкуренции усиленным ростом. Это означает, что отказ от сплошных рубок выгоден с точки зрения воздействия на климат, несмотря на то, что прирост молодых деревьев после сплошных рубок более интенсивен, чем прирост оставшихся после выборочных, а также что производится больше лесоматериалов. Запасы углерода в лесах, которые не подвергаются сплошным рубкам, несколько выше, чем там, где такие рубки происходят. Исследования в горных лесах Центральной Европы свидетельствуют в пользу постепенных и выборочных рубок при сочетании лесозаготовок и сохранении при этом углерододепонирующей функции. Тем не менее, следует учитывать, что постепенные и выборочные рубки сложнее, а заготовка порубочных остатков затратнее, поэтому потенциал по замене ископаемого топлива древесным снижается [152, 153, 177].

Воздействие рубок ухода на углеродный баланс минимально. Как правило, они практически не приводят к повышению эмиссии углерода. Для максимизации запасов углерода имеет немаловажное значение увеличение их повторяемости. Результаты компьютерного моделирования показывают, что увеличение повторяемости на 20% повышает объем углерода в биомассе на 13, в почве – на 10% за 100 лет. Снижение интенсивности рубок на 10% в лесах Швеции может увеличить запас углерода на 60% к 2030 г. Никакие другие изменения в лесохозяйственных мероприятиях не способны сопоставимо повлиять на бюджет углерода за такое короткое время. Более длительные периоды повторяемости рубок ухода приводят также к снижению объемов заготавливаемых лесоматериалов и порубочных остатков для производства биотоплива. Если учесть, что биотопливо замещает ископаемое топливо и тем самым снижает эмиссию углекислого газа, увеличение повторяемости рубок способствует большему снижению эмиссии, чем ее сокращение даже в длительной (100-летней) перспективе. Для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников вредителями рекомендуется увеличивать повторяемость рубок ухода и

проводить их в зимнее время или летом в периоды без осадков, а также сохранять высокую полноту древостоев [170, 178, 181].

Лесоводственные подходы, сочетающие увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, обеспечивают увеличение запаса углерода в лесу и параллельно сокращение эмиссий. Результаты исследования также показывают, что стратегия, направленная на максимизацию «любой ценой» выхода древесины с единицы площади, является не лучшей с климатической точки зрения [170].

Важно учитывать, что стратегии, направленные на увеличение потенциала лесов к депонированию углерода, охватывают определенный, ограниченный отрезок времени. Сток углерода не может увеличиваться бесконечно. Кроме того, со временем возрастает риск эмиссии углерода вследствие воздействия природных катастрофических факторов [152].

Подбор пород играет большую роль в обеспечении возможностей леса адаптироваться к климатическим изменениям, а также важен с точки зрения углеродного баланса. Ельники и березняки накапливают в почве больше углерода, чем сосняки. Это может быть связано с более высоким содержанием органического азота в опаде ели и березы, чем сосны. На севере Швеции в почве ельников и березняков углерода содержится на 65% больше по сравнению с сосняками, в то время как на юге эта разница в 2 раза меньше и составляет 33%. Более высокая депонирующая способность почв в отдельных регионах Швеции объясняется большим участием ели и березы в составе насаждений, что может быть одним из способов увеличения потенциала лесов к депонированию углерода в будущем. По всей видимости, на юге Швеции климат в летние месяцы будет и жарче, и суше, чем на севере. Это значит, что сосна будет более привлекательной породой для многих районов. Она менее чувствительна к воздействию ураганных ветров, чем ель, однако по сравнению с той же елью и березой обладает меньшим депонирующим потенциалом. Как показывают результаты ряда исследований, мягколиственные леса накапливают больше углерода, чем хвойные. При этом потенциал накопления углерода последних выше [174].

Связанная с изменением климата активизация повреждаемости и гибели лесов вследствие пожаров, ветровалов и буреломом, поражений вредителями больше затронет чистые по составу, од-

новозрастные, простые по форме древостои, прежде всего, ели и других хвойных пород, что делает перспективы их выращивания в будущем неопределенными. Для борьбы со вспышками вредителей потребуются значительные усилия лесного хозяйства. Поэтому необходим переход на древесные породы, более адаптированные к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Устойчивость ельников повышается с увеличением количества древесных видов в составе и общей доли примеси в составе (оптимально 50%). Увеличение повторяемости рубок ухода существенно повышает устойчивость ельников [182–187].

Одним из методов интенсификации лесовыращивания являются активное использование удобрений и более интенсивное распространение интродуцентов. В будущем при интенсивных методах лесовыращивания за оборот рубки может потребоваться внесение в почву до 1 500 кг/га азотных удобрений (сейчас, как правило, вносится около 150 кг/га примерно за 10 лет до рубки). В экспериментах при внесении от 600 до 1 800 кг/га азота на протяжении 14-30 лет депонирование углерода возросло в среднем на 25 кг на 1 кг азота. Увеличился запас и почвенного углерода (на 11 кг на 1 кг внесенного азота). При внесении фосфора и калия увеличение депонирования углерода деревьями составило 38, почвой – 11 кг. Даже учитывая, что производство удобрений также связано с эмиссией парниковых газов, которая эквивалентна 0,4-1,2 кг углерода на 1 кг азота, климатический эффект их применения положителен. При многократном удобрении ельника к возрасту рубки запасы углерода в нем были на 26% выше, чем в среднем по аналогичным окружающим древостоям, которые не удобрялись. С применением удобрений насаждение дало на 80% больше запаса древесины. При внесении удобрений выход пиловочника снижается, а выход сырья для получения целлюлозы и биотоплива повышается [174, 181, 188, 189].

В Швеции около 15% лесов могут быть объектом интенсивного лесного хозяйства за счет удобрения и использования высокопродуктивных гибридов ели и других древесных пород. Интенсивное лесовыращивание позволит увеличить ежегодное депонирование углерода на 3,8 Мт за период с 2030 по 2040 год по сравнению с обычными практиками лесоуправления [189].

Тем не менее, в настоящее время в Швеции отсутствует опыт широкого и длительного интенсивного лесовыращивания, которое

сопряжено с определенными значительными рисками. В частности, многократное применение удобрений влияет на состав древостоев и других ярусов растительности. Кроме того, пока не разработаны экспериментальные методики измерения потоков углерода, которые способны показать нетто-накопление углерода лесами при многолетнем использовании удобрений [174, 177].

Интенсификация лесовыращивания ведет к формированию однородных популяций и сокращению разнообразия лесов, что может повысить угрозу распространения насекомых-вредителей и болезней леса, а также снижения устойчивости к климатическим изменениям. В настоящее время научных данных, которые позволили бы количественно оценить эти риски, нет. Удобрение лесов может повысить риск распространения определенных патогенных микроорганизмов, например возбудителя ржавчины сосны (*Cronartium flaccidum*) и снежного шютте (*Phacidium infestans*). Внесение удобрений в лесах, зараженных гнилями, может ускорить развитие корневой губки, что, в свою очередь, повысит чувствительность насаждений к ветровалам и буреломам [190].

Существует прямая зависимость между содержанием азота в почве и интенсивностью эмиссий оксида азота, соответственно при внесении азота в составе удобрений повышается риск увеличения эмиссии оксида азота лесной почвой. На эмиссию парниковых газов могут оказать влияние и опосредованные эффекты внесения удобрений, например в результате попадания удобрений в озера и ручьи, которые являются частью лесного ландшафта. В настоящее время данные, позволяющие количественно оценить такое воздействие, отсутствуют [174, 188].

По результатам ряда исследований, внесение азотных удобрений снижает способность лесных почв разлагать метан, тем не менее, имеются и противоположные сведения. По всей видимости, небольшое повышение концентрации азота в лесных почвах существенно не повлияет на окисление метана, поэтому повышение эмиссии метана в атмосферу не будет значительным [152].

Производство топливной древесины в Швеции за прошедшее десятилетие практически утроилось. В Финляндии использование древесной биомассы в производстве энергии быстро увеличивалось в 2000-х годах до 18,7 млн. м<sup>3</sup> в 2013 году (в т.ч. щепы 8,7 млн. м<sup>3</sup>), что составляет 10% производства энергии по стране. Большая часть топлива производится из порубочных остатков

(ветви и вершины). В настоящее время сбор порубочных остатков организуется приблизительно на трети делянок сплошных рубок. Заготовка древесины для производства топлива означает изъятие биомассы из леса с последующим сжиганием. Разрушение древесины и эмиссия углекислого газа в атмосферу происходят быстрее, нежели при ее гниении в лесу. Если бы эта древесина осталась в лесу, то небольшая часть углерода, содержащегося в ней, в конечном итоге перешла бы в почву. Заготовка порубочных остатков также означает изъятие из лесной почвы питательных веществ, особенно когда порубочные остатки заготавливаются раньше, чем с них осыплется хвоя. Если при этом рост молодого поколения леса замедляется, интенсивность накопления углерода в биомассе уменьшается. По данным исследований, заготовка сучьев и ветвей на лесосеке ведет к снижению продуктивности следующего поколения древостоя на 6-32%. В тех случаях, когда заготовка порубочных остатков ведется при рубках ухода, темпы роста сокращаются на 11–26%. Для повышения угледепонирования лучше, если пни и крупные корни также собираются вместе с порубочными остатками. Предотвратить снижение продуктивности экосистем в будущем и, соответственно, эффективности угледепонирования можно путем сбора порубочных остатков и пней на достаточно плодородных участках или внесением минеральных удобрений. Расчеты для среднеплодородных почв не показали снижения продуктивности из-за сбора биомассы при отсутствии внесения удобрений в сравнении с участками, где не производился сбор [191–198].

В Финляндии сбор порубочных остатков для энергетических целей после проведения рубок главного пользования сокращает количество питательных веществ, особенно в ельниках, если порубочные остатки собираются сразу после проведения рубки вместе с хвоей и листвой. В ельниках сбор порубочных остатков рекомендуется после периода опадения с него хвои (листвы): в маеноне как минимум 2 недели, а в конце лета, по крайней мере, 4 недели. Если порубочные остатки собираются с хвоей (листвой), рекомендуется оставлять в лесу 30% их массы, максимально равномерно распределяя по всей площади лесосеки. На рубках ухода при заготовке сортиментов сбор порубочных остатков для энергетических целей разрешен на всех участках. Если заготавливаются деревья, часть их необходимо оставлять на лесосеке. Рекомендуется оставлять, распределяя равномерно по площади лесосеки,

около 30% от вырубаемого запаса (мелкие порубочные остатки с листвой хвоей, вершины деревьев, мелкие сортименты из вершинной части ствола длиной 1–2 м). В ельниках и лиственных насаждениях необходимо обеспечить опадение листвы и хвои с порубочных остатков. Также лучше дождаться их высыхания в сосняках, но это менее эффективно для возврата питательных веществ, чем в ельниках и лиственных древостоях [178].

Почти 20% биомассы деревьев составляют пни, но их заготовка до сих пор осуществляется в довольно ограниченном объеме. Воздействие заготовки пней на потоки углерода и окружающую среду мало изучено. Исследования проводятся, но пока немногие результаты опубликованы. Сильное воздействие на почву при корчевке может приводить к ускорению процессов разложения и, следовательно, к повышению эмиссии углерода. С другой стороны, нарушение почвенных слоев может во многих случаях благоприятствовать лесовозобновлению и таким образом позитивно сказываться на депонировании углерода в долгосрочной перспективе. По результатам одного из исследований, эмиссия углекислого газа не меняется в первый год после корчевки и подготовки лесокультурной площади. На второй год наблюдается тенденция увеличения эмиссии почвой, хотя причины этого явления остались невыясненными. Было замечено, что площадь поверхности, подвергающейся воздействию колес тракторов или другим механическим воздействиям, была намного больше, чем площадь почвы, нарушенной непосредственно корчевкой. Сильное уплотнение почвы обусловливает сокращение эмиссии углекислого газа, но и ведет к снижению дренированности, что повышает риск эмиссии метана [177, 194–197].

В Северной Америке находится около 25% общемировой площади нетронутых лесов. В США почти 1/3 страны покрыта лесами, в Канаде эта площадь занимает 50% территории страны. Все провинции и территории Канады имеют собственную политику и собственные планы развития системы особо охраняемых природных территорий, что позволяет и дает возможность учитывать природные и социальные особенности конкретных регионов и потребности их населения. В Канаде леса находятся преимущественно в собственности десяти провинций (71%), в каждой из которых действует свое лесное законодательство, регламентирующее структуру управления, финансовые и экономические отношения,

системы владения лесами. В США законодательно предусмотрен порядок генерального планирования, включая оценку и планы управления ресурсами для национальных лесов, планы научных работ для исследовательских станций Лесной службы США, помощь лесохозяйственным агентствам штатов и владельцам небольших лесных участков [159, 199–201].

Леса США вследствие постепенного потепления в последние десятилетия (наибольшие темпы за 100 лет на западе и Аляске) подвергаются значительным повреждениям и гибели (вредители, пожары, засухи). Это может привести к тому, что леса США вместо текущего поглотителя углерода, компенсирующего 13% выбросов парниковых газов страны от добычи топлива, станут его источником. В умеренном климате США и Канады увеличение повреждаемости и гибели лесов с преобладанием ели от вредителей в ближайшие десятилетия не будет компенсировано положительным влиянием изменения климата на ускорение прироста лесов. Влияние повышенного уровня СО<sub>2</sub> на спелые древостои трудно прогнозируемы, как и прогнозирование изменений климата для небольших территорий или отдельных видов деревьев. Увеличение угледепонирования в лесном хозяйстве США основано на росте площади лесов, лесоразведении, лесовосстановлении вырубок; управлении запасами углерода в существующих лесах (увеличение оборота рубки, прироста лесов, отбор деревьев при рубках ухода в соответствии с классическими лесоводственными принципами и др.); использовании древесины для производства энергии, консервация углерода в изделиях из древесины для замены других продуктов, которые выделяют больше парниковых газов при производстве (бетон, сталь и т.д.). Потенциал данных стратегий различен по времени и объемам [202-206]. Среди них основными являются, помимо ведения устойчивого лесного хозяйства, смягчение последствий изменения климата и адаптация к ним (рисунок 18).

Также разработана Стратегия исследований в области глобальных изменений в рамках лесного хозяйства на 2009–2019 гг. для совершенствования подходов к повышению устойчивости экосистем (адаптации), увеличению поглощения углерода и уменьшению выбросов (смягчению) и т.д. Стратегии смягчения последствий изменения климата включают: содействие поглощению углерода лесами и хранению углерода в почвах, растительности, долговечных древесных продуктах и переработанных древесных материалах; косвенное сокращение выбросов парниковых газов (например, за счет использования биоэнергии для компенсации выбросов ископаемого топлива); уменьшение выбросов парниковых газов [207–209].



Рисунок 18. **Политика лесного управления США** в условиях изменения климата

Приоритетом национальной лесной политики Канады является смягчение последствий изменения климата через накопление углерода и снижение его выбросов и адаптация действующих подходов к устойчивому ведению лесного хозяйства (устойчивому лесоуправлению). Лесная политика в стране пересматривается и дополняется каждые 3 года. В связи с изменением климата экономическая выгода от продажи традиционных лесных материалов Канадой будет снижаться. Поэтому стимулируется максимальное использование товаров из древесины с добавленной стоимостью и постоянное расширение их ассортимента на основе научных ис-

следований и инноваций (например, новые строительные материалы, биотопливо, биопродукты, такие как антибиотики, биоактивные бумаги, биопластики, клеи, биопестициды, растительные лекарственные средства, биохимические вещества, промышленные ферменты и др.), недревесные лесные ресурсы, побочное и рекреационное лесопользование и т.д., т.е. идет развитие биоэкономики [199, 210–213].

Изменение климата почти наверняка приведет к изменениям в формационной и возрастной структуре. Поэтому сохранение существующих видов и экосистем, их возрастной структуры, вероятно, нецелесообразно. Мягкие зимы делают необходимым увеличение строительства лесных дорог, что влияет на почвенные условия и водный режим. Способность адаптации лесного хозяйства к изменению климата определяется: осознанием проблемы и срочности ее решения; диапазоном вариантов решений, доступных для управленцев; экономическими ресурсами; эффективностью системы управления, в т.ч. степенью автономии при принятии решения; опытом, навыками и образованием управленцев; доступом к информации и способностью управлять рисками [199, 210–213].

Стоимость внедрения новых технологий очень важно рассматривать в сравнении с ее эффективностью для изменения климата. Например, при использовании генетической модификации для производства сортов деревьев, которые лучше адаптированы к будущим условиям. В тоже время, изменение регионов рекомендуемого происхождения семян, используемых для лесовосстановления, чтобы семена «соответствовали» будущему климату, может быть перспективно, т.к. сейчас они используются в регионах сбора. В некоторых случаях изменения могут быть значительными. Например, замена хвойных пород лиственными видами в областях с большей пожарной опасностью [199, 210–213].

Некоторые принципы или стратегии адаптации включают следующие рекомендации: увеличивать ландшафтное разнообразие; поддерживать биологическое разнообразие; проекты управления при нарушениях лесной экосистемы: лесовосстановление, лесоразведение, санитарные рубки и т.д.; внедрять раннее выявление и быстрое реагирование; управлять реалистичными результатами (проекты с высокой вероятностью успеха); включить подходы адаптации к изменению климата в принципы лесовосстановление и лесоразведения; разрабатывать политику и нормативы, ориенти-

рованные на изменение климата; прогнозировать крупные нарушения лесных экосистем (засухи, пожары, исчезновения видов, изменения в функциях экосистем, планирование сценариев для разработки потенциальных действий) [199, 210–213].

Возможный вариант адаптации включает следующие мероприятия: альтернативные генотипы растений или новые виды в ожидании будущего климата, если имеются положительные данные, что потребует пересмотра подходов по сохранению биоразнообразия; изменение регионов рекомендуемого сбора семян, используемых для лесовосстановления; использование нетрадиционных размеров и качества заготовленной древесины и других видов древесных пород; увеличение объемов санитарных рубок после пожаров и вспышек насекомых; включить климатические переменные в модели роста и продуктивности, в планы управления лесами и землепользования, рассмотреть возможность изменения землепользования на конкретных территориях (лес в сельское хозяйство и наоборот); сокращение оборота рубки; планировать лесные экосистемы для снижения вероятности распространение насекомых и болезней; разрабатывать и внедрять альтернативные технологии лесозаготовок; включить подходы к изменению климата при планировании, строительстве или модернизации производств для переработки древесины нетрадиционных размеров, качества и других видов древесных пород; привлекать общественность к диалогу о ценностях лесов и управлении ими в условиях изменения климата; подготавливать лесное хозяйство к увеличению активности лесных пожаров; актуализация мероприятий по повышению продуктивности [199, 210–213].

Большинство провинций компенсирует затраты держателям соглашений на лесокультурные работы, бесплатно обеспечивает посадочным материалом, стимулирует добровольное участие в лесоводственных мероприятиях [199, 210–213].

В Китае по форме владения преобладают государственные леса, составляющие примерно 73–74%. Китайское правительство осуществляет ряд крупнейших в мире проектов экологического направления, включая проекты по охране природных лесов, восстановлению лесотравяного покрова на пахотных угодьях, созданию лесозащитных полос и т.д. В настоящее время в Китае общая площадь искусственных лесов превысила 50 млн. га. По этому показателю страна занимает первое место в мире. Благодаря усилиям

Китая в области увеличения лесного покрова, в Азиатско-Тихоокеанском регионе наблюдается рост площади лесов [148].

Исследование влияния плантаций на угледепонирование находится на начальном уровне. Разрабатываются подходы к плантационному лесоводству, направленные как на максимизацию производства древесины, так и накопление углерода. Потенциал смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетических культур зависит от значительного количества пространственно изменяющейся информации: почвы, климата, предыдущего управлением земельными ресурсами, будущего землепользования, урожайность сельскохозяйственных культур, запасов остающегося после вырубки плантаций углерода, в т.ч. почвенного углерода и др. Исследование для Англии и Уэльса по оценке изменения почвенного углерода в рамках предлагаемой посадки биоэнергетических культур показало, что выращивание тополя (Populus trichocarpa  $Torr. \& Gray \times P. trichocarpa, var Trichobel)$  окажет в основном положительное влияние на сокращение выбросов парниковых газов, в то время как выращивание рапса и озимой пшеницы, чаще всего, приводит к выделению углерода [214, 215].

Болота покрывают только 3% земли, но содержат больше углерода, чем все леса мира: в бореальной зоне в 7 раз, в тропиках даже в 10 раз больше на гектар, чем экосистемы на минеральных почвах. Торфяники хранят примерно вдвое больше углерода, чем во всех лесах Земли. В субарктике торфяники вызывают образование вечной мерзлоты. Сухая растительность и торф имеют отличные изоляционные свойства, которые замедляют оттаивание льда летом. В результате развиваются мерзлотно-подстилающие торфяные плато или на обводненных участках торфяные ледяные насыпи высотой в несколько метров. Долгосрочный углеродный баланс естественных болот является положительным, а поглощение углерода варьируется в течение года, иногда становясь отрицательным. Фактически торфяные болота довольно близки к точке перехода между выбросами и накоплением углерода, что делает их чувствительными к серьезным изменениям климата и воздействию человека. Во всем мире неосушенные торфяники (более 3 млн. км<sup>2</sup>) в настоящее время поглощают до 100 Мт углерода в год [148, 150, 157, 216–218].

С начала голоцена, почти 12 000 лет назад, торфяники изъяли огромное количество СО<sub>2</sub> из атмосферы и хранили его как торф.

Некоторые ученые считают, что улавливание углерода в торфяниках является основной причиной снижения концентраций углекислого газа в атмосфере и важным вкладом в начало ледникового периода. При образовании торфа часть мертвого растительного материала разлагается в отсутствие кислорода, что приводит к выбросу метана. Естественные торфяники, таким образом, являются основным глобальным его источником. Метан представляет собой гораздо более сильный парниковый газ, чем CO<sub>2</sub>. В краткосрочной перспективе естественные торфяные угодья, по-видимому, практически не влияют на климат, поскольку поглощение CO<sub>2</sub> аннулируется испускаемым метаном. Однако, поскольку метан быстро удаляется из атмосферы за счет окисления (12 лет), тогда как углекислый газ продолжает поглощаться, торфяные болота в мире эффективно влияют на климат в долгосрочной перспективе [148, 150, 157, 216–218].

На потоки парниковых газов из болот влияет широкий спектр взаимосвязанных физических, химических и биологических процессов, причем одним из наиболее важных факторов является уровень грунтовых вод. Деградация торфяников является крупным источником выбросов парниковых газов во всем мире. При осушении болот углерод и азот выделяются в виде парниковых газов в атмосферу, а соединения азота попадают в поверхностные воды. Эти выбросы продолжаются до тех пор, пока торфяники не истощатся. Из осушительных каналов выбрасывается большое количество метана, а в воде находится растворенный органический углерод, который выносится за пределы участка и выделяется в виде  $CO_2$ . Во всем мире 15% болот (0,4% площади суши, 65 млн. га) были осушены и выбрасывают около 1 150 Гт СО2 в год. При учете торфяных пожаров общие выбросы из осущенных торфяников, вероятно, в 2 раза выше, что составляет 5% от общей суммы антропогенных выбросов СО2. Кроме того, при осущении болот возникают другие многочисленные значительные экологические проблемы, в т.ч. утрачивается естественное биоразнообразие. Выбросы из торфяников обычно увеличиваются при более глубоком осушении и более теплом климате. Фактически во всех европейских странах, где торфяные почвы составляют более 3% площади сельскохозяйственных угодий, они отвечают за большинство (более 50%) выбросов парниковых газов, связанных с использованием сельскохозяйственных земель [148, 150, 157, 216–218].

Скандинавские и балтийские государства Дания с Гренландией, Финляндией, Норвегией, Швецией, Эстонией, Латвией и Литвой объединяет почти 250 000 км² торфяников, то есть 6% от мирового масштаба. Почти половина (45%) площади торфяников в североевропейских и Прибалтийских странах были осушены и ежегодно выделяют почти 80 Мт СО₂, то есть 25% от общего объема выбросов СО₂ этих стран. В Исландии и Латвии выбросы СО₂ в торфяниках в два раза превышают общие выбросы от всех других источников (без учета землепользования), в Эстонии, Литве и Финляндии – 50%, в Швеции и Норвегии – 25 и 15% соответственно. Только в Дании (и Гренландии) выбросы торфяников составляют менее 10% от общего количества других выбросов СО₂ [148, 150, 157, 216–218].

Если уровень грунтовых вод восстанавливается, потоки парниковых газов снова становятся похожими на потоки из неосушенных торфяников. Потребуется время, чтобы повторно заболоченный торфяник адаптировался к новой ситуации. В течение первых лет после повторного увлажнения потоки парниковых газов, как правило, выше нетронутых болот. Наблюдаются высокие выбросы метана. Поскольку климатический эффект метана выше СО<sub>2</sub> в 23–28 раз, то повторно заболоченные торфяники не становятся полностью «положительными» для климата в абсолютном выражении на протяжении не менее 100 лет. Непосредственная польза от заболачивания торфяников заключается в том, что чистые выбросы парниковых газов из повторно заболоченных торфяников значительно ниже по сравнению с осущенными (на 6-28 т  $CO_2$  в год). При этом необходимо отметить, что повторное заболачивание не может внести решающий вклад в смягчение последствий изменения климата [148, 150, 157, 216–218].

При вырубке болотных лесов на торфяниках уровень грунтовых вод поднимается, что обусловливает повышение эмиссии метана и снижение углекислого газа. Это имеет краткосрочное негативное климатическое воздействие. Изменение уровня грунтовых вод может также сказываться на эмиссии оксида углерода. Минимум роста эмиссий достигается при стабильном уровне грунтовых вод [148, 218].

Расчистка заросшей мелиоративной сети приводит к росту эмиссий парниковых газов. Поэтому рекомендуется на осушенных лесных землях при зарастании мелиоративной системы поддержи-

вать высокую продуктивность леса за счет оптимального уровня грунтовых вод. При снижении уровня грунтовых вод усилится эмиссия  $CO_2$  из почвы с превышением его депонирования растущим лесом, и, следовательно, будет наблюдаться отрицательный климатический эффект [148, 157, 218].

По некоторым оценкам, инвестиции в меры по предотвращению деградации торфяников или восстановлению деградированных торфяников могут быть в 100 раз более экономически эффективными, чем другие смягчающие меры [148, 150, 157, 216–218].

## 7.2. Сравнительный анализ уровня абсорбции парниковых газов лесами и болотами

Накопление углерода лесными экосистемами варьируется в зависимости от их географического расположения, условий местопроизрастания и характеристик отдельных компонентов насаждений.

Исследования показывают, что высокая интенсивность поглощения углерода характерна для средневозрастных хвойных (3,3–6,4 т С/га в год). Несколько ниже она в молодняках, спелых хвойных, лиственных лесах, а на восстанавливающихся вырубках изменяется от 0,1 до 0,7 т С/га в год). Данные, полученные для отдельных регионов, показывают, что среднее накопление углерода в лесах северо-восточного Китая составляло от 1,9 до 3,4 т С/га в год, в природоохранных лесах Мексики – 1,0 т С/га в год, а в нетронутых тропических лесах Азии (Бруней) было даже отрицательным ( $-0,6 \pm 6,1$  т С/га в год). Применение минеральных удобрений (азотных и фосфорных) в сосновых лесах, произрастающих на бедных почвах, увеличивает депонирование углерода до 5,1 т С/га в год, что на 50% выше, чем при внесении азотных (3,4 т С/га в год). Для европейской части России (зона умеренных лесов) среднее накопление углерода менялось от 1,3 до 2,6 т С/га в год. [219–227].

Накопление углерода болотными экосистемами значительно ниже, чем лесными. В настоящее время оно изменяется в пределах 0,1–0,6 т С/га в год. В некоторые климатические периоды наблюдались резкие увеличения скорости аккумуляции углерода (0,7–1,4 т С/га в год). В текущем (субатлантическом) климатическом периоде прирост торфа варьируется от 0,1 до 0,9 мм/год с отдельными «пиками» от 1,8 до 2,6 мм/год [228–232, 134–138, 140, 253].

Таким образом, годичное накопление углерода лесными экосистемами, как правило, превышает его депонирование болотами примерно в 10 раз. Если сравнивать спелые, перестойные насаждения и восстанавливающиеся вырубки с болотами, то разница в угледепонировании минимальна, а в некоторых случаях леса могут быть источниками углерода.

#### 7.3. Заключение

К мероприятиям, обеспечивающим увеличение абсорбции парниковых газов лесами и болотами, из опыта наилучших мировых практик можно отнести следующие.

- Повышение эффективности системы управления, в т.ч. расширение возможностей принятия решений на уровне лесохозяйственных предприятий и их структурных подразделений, постепенное увеличение доли лесозаготовок сторонними организациями с перспективой проведения ими в будущем основных видов рубок леса.
- Пересмотр и уточнение лесной политики и нормативных документов в стране каждые 3–5 лет на основе актуализированных данных по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода и снижение его выбросов для адаптации действующих подходов к устойчивому ведению лесного хозяйства (устойчивому лесоуправлению).
- При получении лесного образования целесообразно внести в учебные планы и программы изучаемых дисциплин соответствующих специальностей дополнения и изменения, раскрывающие вопросы смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним лесного хозяйства, в т.ч. разработка новых учебных дисциплин.
- Анализ целесообразности внедрения новых технологий в сравнении с их эффективностью для изменения климата (например, при использовании генетической модификации древесных видов, которые лучше адаптированы к будущим условиям, и др.).
- Сохранение существующих лесов, в т.ч. минимизация изъятия покрытых лесом земель, создание новых (увеличение лесистости) на землях, где ведение лесного хозяйства более эффективно.
- Увеличение оборота рубки, оптимизация возрастной структуры, исключение из лесопользования насаждений IV и более низ-

7.3. Заключение 163

ких классов бонитета с целью сохранения лесами угледепонирующей функции.

- Корректирование площадей особо охраняемых природных территорий до их оптимальной доли в лесном фонде страны с учетом сохранения биологического разнообразия и угледепонирующей функции, а также социально-экономической составляющей лесохозяйственной отрасли.
- Адаптация подходов по сохранению биоразнообразия с учетом прогнозов будущего изменения климата (новые виды, альтернативные генотипы растений).
- Оптимизация формационной структуры и породного состава древостоев с учетом прогнозов возможного изменения климата. Подбор древесных пород, более адаптированных к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Пересмотр регионов рекомендуемого происхождения семян, используемых для лесовосстановления, чтобы семена «соответствовали» будущему климату. Увеличение количества древесных видов в составе и общей доли примеси (до 50%) для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников.
- Увеличение доли несплошных рубок главного пользования в первую очередь за счет равномерно-постепенных, группово-постепенных, длительно-постепенных и добровольно-выборочных, предусмотрев для этого меры дополнительного стимулирования и расширения перечня возможных объектов их проведения: снижение действующих норм выработки на проведение лесосечных работ для лучшего сохранения лесной среды и финансовая ответственность лесозаготовителей за нарушение лесоводственных требований; содействие предварительному лесовозобновлению, в т.ч. с использованием специализированных машин и механизмов; уточнение и доработка организационно-технических элементов рубок и др.
- Увеличение доли сплошнолесосечных рубок главного пользования с сохранением подроста (уменьшение норм количества подроста, подлежащего сохранению; стимулирование их проведения лесопользователями и усиление ответственности за некачественное выполнение рубок) или постепенный отказ от применения сплошных рубок без его сохранения.
- Увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, отбор деревьев при рубках ухода в соответствии с

классическими лесоводственными принципами. Поддержание высокой полноты древостоев и проведение рубок в зимнее время или летом в периоды без осадков для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников.

- Дальнейшее применение и расширение экологически щадящих технологий рубок леса, конкретизация норм оставления деревьев для сохранения биологического разнообразия, формирования сложных по составу и структуре лесов нового поколения при проведении сплошных рубок главного пользования.
- Увеличение прироста лесных насаждений возможно за счет использования минеральных удобрений, но риски распространения определенных патогенных микроорганизмов, ускорения развития корневой губки, снижения биологического разнообразия, ускорения эмиссии оксида азота лесными почвами и опосредованных отрицательных эффектов не дают возможность рекомендовать данное мероприятие в широкой лесохозяйственной практике для повышения углерододепонирования. Альтернативным вариантом является биологическая мелиорация.
- Использование древесины для производства топлива (сучья, ветви и пни, дровяная древесина и др.) позволяет сократить выбросы парниковых газов за счет замещения ископаемого топлива, при этом наибольший эффект достигается при замене угля. Сбор порубочных остатков следует осуществлять после опадения с них хвои или листьев с оставлением в лесу не менее 50–30% их массы в зависимости от почвенного плодородия. В связи с противоречивыми данными о влиянии заготовки пней на поглощение углерода, использование их в качестве топлива не целесообразно.
- Консервация углерода в более долговечных изделиях и конструкциях вместо энергоемких материалов (бетон, сталь и т.д.), при производстве которых выделяется больше парниковых газов, и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо. Стимулирование максимального производства и использования товаров из древесины с высокой добавленной стоимостью и постоянное расширение их ассортимента на основе научных исследований и инноваций (новые строительные материалы, биопродукты, такие как антибиотики, биоактивные бумаги, биопластики, клеи, биопестициды, растительные лекарственные средства, биохимические вещества, промышленные ферменты и др.), т.е. развитие биоэкономики.

7.3. Заключение 165

• Планирование, строительство или модернизация производств по переработке древесины (в т.ч. второстепенных видов древесных пород) на основе будущей формационной структуры лесов.

- Развитие плантационного лесоводства должно быть направлено не только на максимизацию производства древесины, но и накопление углерода. Перспективным для смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетическими культурами может быть их создание на нелесных землях государственного лесного фонда и других категориях земель.
- Запрет на законодательном уровне осущения всех типов болот; предотвращение деградации, восстановление деградированных и повторное заболачивание осущенных торфяников; ограничение и возможный запрет в будущем рубок в болотных лесах.

# ОБЗОР ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЧАСТИ АБСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ЛЕСАМИ

Основным парниковым газом в Республике Беларусь является диоксид углерода ( $CO_2$ ), доля которого в выбросах парниковых газов (без нетто-стоков  $CO_2$  сектора «ЗИЗЛХ») составляет в эквиваленте  $CO_2$  в 2012 г. 64,4%, закись азота ( $N_2O$ ) — 18,4 и метан ( $CH_4$ ) — 17,2, доля HFC и  $SF_6$  - 0,003%.

Выбросы  $CO_2$  от сжигания ископаемых видов топлива являются основным источником парниковых газов в Республике Беларусь. Причем наибольшее количество выбросов парниковых газов выделяется в секторе «Энергетика» — 61,4% от общенациональных выбросов. После 1990 года в Республике Беларусь начал отмечаться спад выбросов углекислого газа, что было вызвано структурными изменениями в ВВП.

Мощным источником парниковых газов *неэнергетического* происхождения является сельское хозяйство. Данный сектор является вторым по величине выбросов парниковых газов. На его долю приходится около 26,2% от общенациональных выбросов парниковых газов.

Основными источниками выбросов парниковых газов в земледелии являются внесение в почву органических и минеральных удобрений, сточные воды с полей и остатки урожая, теплицы, возделывание осушенных земель. При этом выделяются  $N_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ .

Сектор «Отходы» является одним из существенных источников выбросов парниковых газов. Выбросы парниковых газов сектора «Отходы» в 2012 г. составили 7,0% от общенациональных выбросов.

При оценке выбросов  $CO_2$  также учитывается изменение запасов углерода в лесах и почвах.

Для эффективной борьбы с ростом выбросов парниковых газов необходима глобальная платформа и соответствующие инст-

рументы на международном уровне. В нашей стране проблема парниковых газов, и, в частности,  $CO_2$ , рассматривается большей частью в контексте международных конвенций и договоров, подписанных РБ и действующих на ее территории. В целях выполнения своих обязательств по этим соглашениям Республика Беларусь включает вопросы, связанные с  $CO_2$ , в свое внутреннее законодательство.

## 8.1. Законодательные акты Республики Беларусь в части изменения климата и парниковых газов

В Республике Беларусь создана и функционирует вертикально-ориентированная структура иерархии нормативных правовых актов, в том числе в области воздействия на климат. Правовые акты Республики Беларусь приводятся в единую систему путем их согласования и определения иерархии правовых актов [233].

*Иерархия нормативных правовых актов в Республике Беларусь:* 

- Конституция
- Декреты и указы Президента
- Законы
- Постановления Правительства
- Нормативные правовые акты министерств и ведомств
- Нормативные правовые акты, принимаемые местными органами государственной власти
  - Локальные нормативные правовые акты

Конституция Республики Беларусь обладает высшей юридической силой. Законы, декреты, указы и иные акты государственных органов (должностных лиц) принимаются на основе и в соответствии с Конституцией Республики Беларусь. Именно в Конституции закреплено право граждан Республики Беларусь на благоприятную окружающую среду.

*Нормативные правовые акты Президента Республики Беларусь*, если иное не предусмотрено Главой государства, издаются в форме декретов и указов, имеющих обязательную силу на всей территории Республики Беларусь.

Решения Палаты представителей Национального собрания Республики Беларусь принимаются в форме законов и поста-

новлений. Постановления Палаты представителей принимаются по вопросам распорядительного и контрольного характера.

Решения Совета Республики Национального собрания Республики Беларусь принимаются в форме постановлений. Законы Республики Беларусь регулируют наиболее важные общественные отношения. Вступившие в силу законы Республики Беларусь обязательны для применения на всей территории Республики Беларусь, если иное не установлено в самом законе.

Совет Министров Республики Беларусь на основе Конституции Республики Беларусь, актов Президента Республики Беларусь, законов Республики Беларусь принимает в пределах своих полномочий нормативные правовые акты в форме постановлений. Совет Министров Республики Беларусь принимает нормативные правовые акты по вопросам, которые не могут быть решены иными республиканскими органами государственного управления.

Нормативные правовые акты Совета Министров Республики Беларусь в области воздействия на климат регулируют вопросы реализации государственной политики, разработки и реализации государственных программ в данной области, определения порядка представления, рассмотрения и мониторинга климатических проектов, формирования и ведения Национального реестра углеродных единиц.

Нормативные правовые акты министерств, иных республиканских органов государственного управления могут приниматься (издаваться) только в случаях и пределах, предусмотренных Конституцией Республики Беларусь, нормативными правовыми актами Президента Республики Беларусь, законами Республики Беларусь, положениями о соответствующих органах, а также нормативными правовыми актами Совета Министров Республики Беларусь. Нормативные правовые акты министерств, иных республиканских органов государственного управления принимаются (издаются) в форме постановлений и приказов.

Местине Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы в пределах своей компетенции принимают нормативные правовые акты в форме решений. Решения местных Советов Депутатов регулируют вопросы принятия и реализации программ и мероприятий в области воздействия на климат на местном уровне, а также вопросы их финансирования и материальнотехнического обеспечения, организации просвещения и информационного обеспечения населения в области воздействия на климат.

Закон Республики Беларусь от 16 декабря 2008 года №2-3 «Об охране атмосферного воздуха» представляет правовые и организационные основы охраны атмосферного воздуха от выбросов загрязняющих веществ и направлен на сохранение, восстановление качества атмосферного воздуха, обеспечение экологической безопасности. Так, согласно п. 4 ст. 2 Закона Республики Беларусь от 16.12.2008 № 2-3 «Об охране атмосферного воздуха» отношения, связанные с воздействием на климат парниковых газов, являющихся загрязняющими веществами, регулируются законодательством об охране атмосферного воздуха и охране окружающей среды.

Ряд решений по снижению выбросов парниковых газов, принятых в стране в истекшем пятилетии (2011–2015 гг.), являются долговременными по сроку действия. В связи с этим они актуальны и в текущем периоде. В частности: Рамочная конвенция ООН об изменении климата [235] и Киотский протокол [236], для исполнения которых был принят ряд необходимых документов, некоторые из которых представлены ниже.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 07.09.2006 № 1155 "Об утверждении Стратегии снижения выбросов и увеличения абсорбции поглотителями парниковых газов в Республике Беларусь на 2007 - 2012 годы" [237]. В данном документе предусмотрен ряд мер, направленных на сокращение выбросов и увеличение стоков парниковых газов. В целях развития Национальной программы мер по смягчению последствий изменения климата на 2008-2012 годы была принята Государственная программа мер по смягчению последствий изменения климата на 2013 — 2020 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 510 [238]. Цельсокращение выбросов парниковых газов в 2020 году на 8 процентов к уровню 1990 года (за 2013 — 2020 годы не менее чем на 10 млн. тонн в эквиваленте СО2). Общий объем финансирования планируется в размере 10,205 млн. долл. США.

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14 апреля 2009г. № 466 «О порядке представления, рассмотрения и мониторинга проектов по добровольному сокращению выбросов парниковых газов» предоставило возможность привлечения средств потенциальных иностранных инвесторов в проекты по добровольному сокращению выбросов парниковых газов.

Указ Президента Республики Беларусь от 8 декабря 2010 г. № 625 «*О некоторых вопросах сокращения выбросов парниковых газов*» закрепил ряд положений, позволяющих субъектам хозяйствования получать средства за продаваемые единицы добровольного сокращения выбросов парниковых газов от покупателей, в том числе нерезидентов Республики Беларусь].

Указ Президента Республики Беларусь от 07 мая 2012 г. № 224 «О проведении переговоров по проекту поправки к приложению В к Киотскому протоколу к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» определяет позицию Республики Беларусь в отношении поправки к приложению В к Киотскому протоколу к РКИК ООН. Целевой показатель для Республики Беларусь на второй период действия Киотского протокола — сокращение выбросов парниковых газов к 2020 году на 8 процентов к уровню 1990 года [239].

Стратегия в области охраны окружающей среды до 2025 года, одобренная решением коллегии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28 января 2011 года №8-р. Стратегия определяет ряд задач по обеспечению снижения воздействия на климат, в т.ч. развитие механизмов экономического стимулирования субъектов хозяйствования к снижению выбросов парниковых газов; обеспечение выбросов парниковых газов к 2020 г. на уровне не более 110 млн. т.

Указом Президента Республики Беларусь от 11 апреля 2011 г. № 136 была принята Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011—2015 годы. Совершенствование системы платежей за выбросы парниковых газов и создание национальной системы торговли выбросами парниковых газов направляются на предупреждение возникновения соответствующих экологических угроз.

В качестве важнейших задач указом предусматривается сокращение потребления углеродного топлива, увеличение объемов использования сжатого и сжиженного газа, дизельного топлива с ультранизким содержанием серы, бензина стандартов Евро-4 и Евро-5.Намечается совершенствование экономического стимулирования субъектов хозяйствования к освоению малоотходных технологий и переработке вторичного сырья.

Концепция национальной безопасности Республики Беларусь (указ президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. № 575) охватывает многие сферы, которые определяют национальную безопасность, в том числе экологическую безопасность. Данный документ подчеркивает важность создания эффективной нормативной правовой базы экологической безопасности, включая систему платежей за пользование природными ресурсами и адекватную компенсацию ущерба, причиненного природной среде.

Указом Президента Республики Беларусь от 13 июня 2011 г. № 244 утверждена реализация Государственной программы обеспечения функционирования и развития Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь на 2011-2015 годы. Она позволяет обеспечивать получение данных о состоянии атмосферного воздуха средних и крупных городов в режиме реального времени, а также получение данных о трансграничном переносе загрязняющих веществ и парниковых газов в приземном слое воздуха и верхних слоях атмосферы.

В Программе деятельности Правительства РБ на 2011—2015 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18 февраля 2011 г. № 216 поставлена задача улучшения качества окружающей среды, реализации возможностей РБ по привлечению инвестиций в рамках КП, включая торговлю квотами. В качестве механизма реализации указанной политики Правительство РБ считает необходимым внедрение экологического страхования в целях создания резервного источника для покрытия затрат на возмещение вреда, причиненного окружающей среде вследствие техногенных и природных аварий.

Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 26 мая 2011 г. № 669. Предусмотрено строительство биогазовых комплексов суммарной электрической мощностью около 90 МВт. В сфере использования возобновляемых источников энергии и местных видов топлива будут введены в эксплуатацию гидроэлектростанции, модернизированы на основе внедрения новых и высоких технологий котельные в мини-ТЭЦ. Будут увеличены суммарная электрическая мощность ветропарков, объем других видов энергоносителей (отходы растениеводства, солнечная энергия, коммунальные отходы, нефтяной кокс и другие) [240].

Для выполнения задач создания конкурентоспособной экономики принята *Стратегия технологического развития Республи*-

ки Беларусь на период до 2015 года (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 1 октября 2010 г. № 1420). Выбросы  $CO_2$  и прочих парниковых газов в атмосферу будут уменьшены за счет снижения энергоемкости производств, использования альтернативных газу видов топлива, эффективного использования материальных ресурсов и возобновляемых энергоисточников.

По поручению Президента Республики Беларусь разработана и реализуется *Национальная страмегия устойчивого развития*, которая выстроена с учетом комплексной увязки экономического, социального и экологического аспектов. При этом экология — целеполагающий компонент в экономическом развитии.

В рамках реализации поручений Президента Республики Беларусь принят *План действий по интенсификации освоения минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2016–2020 годы*, разработанный с учетом снижения степени воздействия на окружающую среду. Созданная в Республике Беларусь система обращения с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами позволяет извлекать и перерабатывать из коммунальных отходов около 16 % вторичного сырья.

В рамках Комитета Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды принята и реализуется программа Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017-2020 годы.

Учеными и специалистами Беларуси и сопредельных стран проводятся активные совместные исследования в области трансграничного загрязнения воздуха на большие расстояния, охраны водно-болотных угодий и другим важным направлениям природоохранной деятельности.

#### 8.2 Международное сотрудничество Республики Беларусь по сохранению устойчивого климата и международные договора, действующие в сфере охраны окружающей среды

Международное сотрудничество является основой политики Республики Беларусь в области изменения климата. Расширение сотрудничества в области изменения климата ведется совместно с

такими международными организациями, как: Представительство ООН в Беларуси, Программа ООН по окружающей среде, Европейская экономическая комиссия ООН, Организация экономического сотрудничества и развития, Межправительственная группа экспертов по изменению климата, Всемирная метеорологическая организация, Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе, Межгосударственный экологический совет СНГ.

Решением Совета глав правительств Содружества Независимых Государств (СНГ) от 30 мая 2012 года была утверждена Стратегия развития гидрометеорологической деятельности государств — участников Содружества Независимых Государств.

Правительство Республики Беларусь планирует мероприятия, направленные на стабилизацию выбросов и увеличение стоков ПГ в период роста экономики. В этой связи предусмотрены меры по улучшению качества поглотителей и накопителей парниковых газов. В Беларуси, где леса занимают около 40 % территории, исключительное значение имеет потенциал увеличения поглощения диоксида углерода из атмосферы лесными экосистемами.

**Рамочная конвенция ООН об изменении климата**. Дата и место принятия: 09.05.92, Нью-Йорк. Республика Беларусь в числе первых стран подписала Рамочную конвенцию Организации Объединенных Наций об изменении климата (далее — РКИК). Подписана Республикой Беларусь: 14.06.92. Вступила в силу для Республики Беларусь: 09.08.2000 года.

На III Конференции Сторон РКИК (Киото, декабрь 1997 г.) был принят Киотский протокол, который зафиксировал количественные обязательства по сокращению выбросов парниковых газов в 2008–2012 годах для стран, включенных в приложение 1 к РКИК. Эти страны по отдельности или совместно должны обеспечить сокращение совокупного объема выбросов парниковых газов не менее чем на 5 процентов по сравнению с уровнем 1990 года.

Указом Президента Республики Беларусь от 12 августа 2005 г. № 370 Республика Беларусь присоединилась к Киотскому протоколу и РКИК. 24 ноября 2005 г. Республика Беларусь стала полноправной Стороной данного протокола.

Республика Беларусь, как Сторона данных международных соглашений, не должна допустить превышения запланированных объемов выбросов парниковых газов в период обязательств Киотского протокола в 2008–2012 годах. При осуществлении своей

внутренней политики республике необходимо предусмотреть стратегические меры по стабилизации выбросов и увеличению поглощения парниковых газов в условиях опережающего развития экономики. Одновременно необходимо также учитывать будущие обязательства по Киотскому протоколу в последующий период (2013–2017 годы), когда разрешенные объемы выбросов будут заметно снижены.

Для решения этих задач разработана *Стратегия снижения* выбросов и увеличения абсорбции поглотителями парниковых газов в *Республике Беларусь на 2007–2012 годы* (далее – Стратегия) [237].

Целью Стратегии является определение основных направлений деятельности в республике, позволяющих с помощью экономически обоснованных, экологически приемлемых мер обеспечить установленное снижение антропогенной нагрузки на климат при эффективном развитии отраслей экономики и удовлетворении потребностей населения. Стратегия разработана в соответствии с планом мероприятий по реализации положений Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата на 2005—2012 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2005 г. №1582.

Базовыми документами для разработки Стратегии являются: •Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года; •Целевая программа обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года; •Концепция энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы в 2006–2010 годах; •Республиканская программа энергосбережения на 2006-2010 годы; •Национальный план действий по рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды Республики Беларусь на 2006 – 2010 годы; •Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006 - 2010 годы.

В Стратегии используются термины и понятия, определенные в РКИК, Киотском протоколе и решениях Конференции Сторон

РКИК, устанавливающих требования к национальным кадастрам антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов.

Во исполнение международных обязательств Республики Беларусь по Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и Киотскому протоколу к РКИК ООН были приняты:

- Указ Президента Республики Беларусь от 8 декабря 2010 г. №625 «О некоторых вопросах сокращения выбросов парниковых газов». Он регулирует вопросы продажи единиц сокращения выбросов парниковых газов, заключения договора о реализации проекта по добровольному сокращению выбросов парниковых газов, порядок обращения с денежными средствами, полученными от продажи единиц сокращения выбросов парниковых газов [238].
- Указ Президента Республики Беларусь от 07 мая 2012 г. № 224 «О проведении переговоров по проекту поправки к приложению В к Киотскому протоколу к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата».
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2005 г. №1582 «О реализации положений Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата», которым утвержден план мероприятий по реализации положений Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата на 2005—2012 годы;
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 апреля 2006 г. №485 «Об утверждении положения о порядке ведения государственного кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов»;
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 4 мая 2006 г. №585 «Об утверждении положения о национальной системе инвентаризации парниковых газов»;
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 августа 2006 г. №1077 «О Национальном реестре углеродных единиц Республики Беларусь»;
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 5 сентября 2006 г. №1144 «Об утверждении Положения о порядке представления, рассмотрения и мониторинга проектов совместного осуществления»;

- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 5 сентября 2006 г. №1145 «О создании Государственной комиссии по проблемам изменения климата»;
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 4 августа 2008 г. №1117 «Об утверждении Национальной программы мер по смягчению последствий изменения климата на 2008-2012 годы»:
- Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 14 апреля 2009 г. №466 «О порядке представления, рассмотрения и мониторинга проектов по добровольному сокращению выбросов парниковых газов»;
- Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 22 января 2007 г. №4 «Об утверждении Инструкции о порядке формирования и ведения Национального реестра углеродных единиц Республики Беларусь»;
- Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 1 февраля 2007 г. №10 «О мерах по реализации постановления Совета Министров Республики Беларусь от 5 сентября 2006 г. №1144».

Конечная цель настоящей Конвенции и всех связанных с ней правовых документов заключается в том, чтобы добиться стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему.

#### Приняты следующие важные стратегические документы:

- Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. (принята в 2015 г.).
- Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016 2020 гг. (принята в 2016 г.).

Работа по сбору данных в отношении  $CO_2$  и других выбросов, загрязняющих атмосферный воздух, осуществляется в Беларуси на основании имеющегося законодательства [241, 242]. На второй период обязательств Киотского протокола Республика Беларусь приняла на себя ряд добровольных обязательств по снижению энергоемкости ВВП и выбросов парниковых газов с целевыми по-казателями до 2015 и 2020 года, которые отражены в основных

программных документах и нормативных правовых актах Республики Беларусь. К ним относятся:

- целевой показатель по сокращению выбросов парниковых газов в 2020 г. на 8 процентов к уровню 1990 года;
- обеспечение выбросов парниковых газов к 2020 г. на уровне не более 110 млн. тонн;
- снижение энергоемкости за период 2011–2015 гг. на 29–32 % к уровню 2010 года

В Республике Беларусь создана нормативная правовая база в области регулирования воздействия на климат. Основные нормативные правовые акты приняты в 2005-2011 годах и функционируют на сегодняшний день. Число указанных нормативных правовых актов постоянно растет. Общий эффект осуществления политики и мер за период 2005–2014 гг. составил 12.3 млн. т. в экв. СО<sub>2</sub>.

Парижское соглашение по климату. Парижское соглашение — соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Соглашение было подготовлено взамен Киотского протокола в ходе 21 Конференции Сторон Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (8 декабря 2015 года), а подписано 22 апреля 2016 года. Целью соглашения (согласно статье 2) является «активизировать осуществление» Рамочной конвенции ООН по изменению климата, в частности, удержать рост глобальной средней температуры «намного ниже» 2 °С и «приложить усилия» для ограничения роста температуры величиной 1,5 °С.

Парижское соглашение — это инструмент, направленный на реализацию резолюции Генеральной Ассамблеи ООН «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 года», а также на поддержку экологической целостности, возобновляемых источников энергии, «зеленой» экономики, передачу высокоэффективных технологий, смягчение последствий изменения климата и адаптацию к изменяющемуся климату.

Согласно Парижскому соглашению, все страны, включая Республику Беларусь, смогут иметь доступ к экономическим механизмам, обеспечивающим стимулирование мероприятий, направленных на сокращение выбросов парниковых газов и увеличение абсорбции парниковых газов поглотителями, включая проекты, связанные с лесами, а также на мероприятия по адаптации к изменению климата в сельском и лесном хозяйстве.

Парижское соглашение, подписанное 22 апреля 2016 года, вступило в силу 4 ноября 2016 г.

В соответствии с *Указом Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 г. № 345* Республика Беларусь стала полноправной Стороной Парижского соглашения [243]. Обязательством Республики Беларусь по Парижскому соглашению является сокращение выбросов парниковых газов на 28 процентов к 2030 году по сравнению с 1990 годом.

Итоги Первой сессии Конференции Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения станут основой для создания нормативно-правовой и законодательной базы на период до 2020 года и далее. Данное законодательство будет, направлено на стимулирование сокращения выбросов парниковых газов в нашей стране, в том числе посредством привлечения новейших технологий, финансовой поддержки. Далее будет разработан Национальный план по выполнению обязательств, принятых Республикой Беларусь по Парижскому Соглашению.

Рамсарская конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитания водоплавающих птиц. Дата и место принятия: 02.02.71, Рамсар, вступила в силу для Республики Беларусь: 10.09.99 [244].

Конвенция по водно-болотным угодьям (Рамсар, Иран, 1971) является межправительственным договором основная миссия которого — «сохранение и разумное использование водно-болотных угодий путем национальных действий и международного сотрудничества для достижения устойчивого мирового развития». Цель Рамсарской Конвенции — сохранение и рациональное использование водно-болотных угодий как средства достижения устойчивого развития во всем мире.

Болота — легкие Земли. Они поглощают углекислый газ и вырабатывают кислород, формируют климат и поддерживают биологическое равновесие. Установлено, что один гектар естественных болотных угодий способен поглотить около тонны парниковых газов. В Беларуси на каждого жителя ежегодно приходится 6, в Германии — 11, в США — 25 тонн парниковых газов. Болота выполняют огромное количество функций, однако полностью их выполнять могут только болота ненарушенные, «живые».

Есть у болот еще одна важная задача. Они регулируют содержание в атмосфере парниковых газов – двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>),

метана ( $\mathrm{CH_4}$ ) и закиси азота ( $\mathrm{N_2O}$ ). Болото изымает углекислый газ из атмосферы за счет образования торфа, но в нарушенном болоте образование торфа останавливается. В «сухом» болоте начинается процесс минерализации торфа, при которой наблюдается его интенсивное разложение и выделение  $\mathrm{CO_2}$  в окружающую среду. Следовательно, осущенное болото является источником выбросов парниковых газов. Поэтому для более точной оценки выбросов парниковых газов и проведения соответствующих проектов по снижению их выбросов необходимо учитывать эмиссии и стоки парниковых газов от деградированных болот. Включение болот в Рамсарскую конвенцию повлечет за собой не только экологические, но и экономические выгоды. К примеру, будут выделяться средства для «восстановительных» проектов [245].

В институте почвенной микробиологии (Марбург, Германия) разработан для растений новый высокоэффективный метод связывания СО<sub>2</sub>. Он основывается на новом ферменте для связывания углерода, благодаря которому этот процесс может гипотетически идти в 2-3 раза быстрее. Растения потребляют СО<sub>2</sub>. с помощью одного и того же химического процесса, называемого циклом Кальвина. Установлено что новый цикл на 25% эффективнее, чем цикл Кальвина. Сейчас трудно спрогнозировать, насколько быстрым будет этот цикл углерода на практике по сравнению с циклом Кальвина, но ученые ожидают ускорения в два или три раза [246].

Другой способ поглощения углекислого газа, обладающий большим потенциалом, — размещение «искусственных деревьев». Они имеют форму гигантских мухобоек высотой в 10 м и становятся все более обычным явлением вдоль дорог, автострад и в других загрязненных районах. Такие деревья улавливают  $CO_2$  через фильтр в тысячи раз более эффективно, чем настоящие деревья. Затем углекислый газ удаляется из них и отправляется на хранение [247].

Республика Беларусь – страна с уникальной природой, богатая ресурсами водно-болотных угодий, – играет важную роль в их сохранении на европейском уровне. Наша страна – единственное в Европе место, где сохранились в естественном состоянии значительные возобновляемые болотные массивы, отличающиеся интенсивным поглощением углекислого газа из атмосферы. Возраст болот Беларуси – около 10 тысяч лет. В настоящее время их общая площадь составляет 2,39 млн. га, в естественном или близком к ес-

тественному состоянии сохранилось 863 тыс. га болот, 10 тыс. озер, 20,8 тыс. рек.

Для сохранения и охраны водно-болотных угодий, которые являются природными поглотителями СО<sub>2</sub>,государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам» подготовило «*Схему национальной экологической сети»*. Схема утверждена Указом Президента № 108 от 13.03.2018 г. Определены мероприятия по ее развитию, формированию и функционированию ее элементов, которые в том числе включают и создание 25 водно-болотных заказников местного значения общей площадью около 3600 гектаров. Сеть представляет собой систему природно-территориальных комплексов со специальными режимами охраны и использования. Основанием для создания Сети стал Закон Республики Беларусь от 20 октября 1994 г. «*Об особо охраняемых природных территориях*».

Одним из ключевых шагов к реальному формированию экономического роста Республики Беларусь на зеленых принципах является Проект «Содействие переходу Республики Беларусь к зеленой экономике» [248], финансируемый Европейским Союзом и реализуемый Программой развития ООН в ряде стран Европы. Среди перспективных направлений зеленого развития национальной экономики Беларуси Проект [248] рекомендует развитие рынка экосистемных услуг. Одним из основных направлений предполагаются услуги по поглощению углерода (сохранение существующего лесного покрова, лесонасаждения). Разрабатываемый по настоящему заданию Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года созвучен и практически реализует рекомендации Проекта «Содействие переходу Республики Беларусь к зеленой экономике» [248].

## 8.3 Текущая ситуация по вопросам воздействия лесов на парниковые газы и климат

Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газовпоглотителями (леса, болота)

Ежегодно растительность Земли связывает 170 млрд. т углерода, и ежегодно в растениях синтезируется около 400 млрд. т ор-

ганических веществ. При образовании 1 т абсолютно сухой древесины независимо от древесной породы поглощается в среднем 1,83 т углекислоты и выделяется 1,32 т кислорода. Установлено, что 1 га 20-летнего соснового насаждения, давая в среднем ежегодный прирост древесины 5 м³ на 1 га, поглощает каждый год 9,35 т  $\rm CO_2$  и выделяет 7,25 т  $\rm O_2$ . Более эффективными поглотителями  $\rm CO_2$  являются средневозрастные насаждения. 1 га 60-летнего соснового леса дает ежегодный: прирост в среднем 7,51 м³ на 1 га, поглощая за это время 14,44 т  $\rm CO_2$  и выделяя 10,92 т  $\rm O_2$ . Еще активнее фотосинтез протекает в 40-летних дубовых насаждениях, где поглощение  $\rm CO_2$  за год на 1 га составляет 18 т, а выделение — 13,98 т.

Исследования показали, что в зоне сильной постоянной загазованности тополь является наилучшим «санитаром». Для сравнения за 5 летних месяцев 25-летний дуб поглощает 28 кг углекислого газа, липа — 16, сосна — 10, ель — 6, а взрослый тополь — целых 44 кг. Хорошими поглотительными качествами обладают также липа мелколистная, ясень, сирень и жимолость [249].

Республика Беларусь продолжает оказывать существенные экосистемные услуги на мировой арене, имея один из самых высоких показателей лесистости в Европе (около 39% территории) и большие площади неосушенных болот (около 7% территории), которые связывают и выводят из атмосферы углекислый газ.

В республике сектор "Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство" — единственный, где объем поглощения парниковых газов превышает объем их выбросов. В 2004 году это превышение составило 11900,32 тыс. тонн в эквиваленте  $CO_2$ . Внутри сектора выбросы парниковых газов составили 13010,90 тыс. тонн, а стоки — 24911,22 тыс. тонн в эквиваленте  $CO_2$ .

Приоритетными направлениями деятельности в данном секторе являются:

- 1. Меры по увеличению стоков парниковых газов:
- увеличение площади лесов за счет лесозаращивания низкопродуктивных земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота;
  - восстановление пойменных дубрав;
- расширение практики применения несплошных рубок главного пользования и рубок реконструкции малоценных лесных насаждений;
  - переход на повышенные возрасты рубки;

- реабилитация нарушенных болот путем повторного заболачивания с возобновлением процессов торфообразования и восстановление иных природных поглотителей.
  - 2. Меры по снижению выбросов парниковых газов:
- совершенствование технологий, включая технологии возврата остатков культур, неглубокой вспашки и сокращения продолжительности пара;
  - повышение эффективности использования древесины [250].

Поглощение СО2из атмосферы лесами – одно из относительно малозатратных направлений борьбы с изменением климата, например, посредством более эффективного управления лесным хозяйством. Леса ежегодно используют более 25 млн. т СО2 для фотосинтеза и других жизненно важных процессов. Углерододепонирующая функция леса оказывает существенное влияние на общий углеродный баланс атмосферы. Не вся углекислота, поглощаемая лесными растениями, поступает из атмосферы. Важным источником СО2 также является почва, особенно лесная. Запасы углерода хранятся в мертвой древесине, в лесной подстилке, в корневых остатках. Эти запасы особо значительны в малонарушенных лесах. Сплошные рубки, большие площади лесных пожаров способствуют нарушению углеродного цикла. Соответственно борьба с лесными пожарами и болезнями, сохранение биологического разнообразия и устойчивости лесов способствуют депонирования углерода [251].

Важнейшие поглотители  $CO_2$  из атмосферы Земли — это мхи, цианобактерии и лишайники. Установлено, что 7 % углекислого газа из атмосферы Земли поглощают мхи, лишайники и другие одноклеточные фотосинтезирующие организмы.

7% поглощённого  $CO_2$  — это примерно 14,3 миллиарда тонн  $CO_2$ , который вовлекают в круговорот мхи, цианобактерии и лишайники из атмосферы за один год. Поэтому актуально сохранять болота и леса Европы, так как лишайники и мхи обитают в основном в этих экосистемах. Кроме того, эта группа организмов в круговороте азота фиксирует от 30 до 80% от общего количества биологического азота в зависимости от типа местности и климатического пояса. Тем самым они поддерживают баланс азота и способствуют увеличению переработки углекислого газа растениями, т. к. фотосинтез деревьев, кустов и трав снижается при недостатке азота в почве [252].

Решить задачу по уменьшению концентрации CO<sub>2</sub> и прочих парниковых газов в атмосфере невозможно в рамках одного хозяйственного сектора страны. Так, например, в лесохозяйственном секторе *Государственная программа «Белорусский лес» на* 2016–2020 годы разработана в целях реализации задач, поставленных Президентом Республики Беларусь и Правительством Республики Беларусь перед лесным комплексом. Ее задачи включают в себя повышение эффективности работы лесной, деревообрабатывающей, мебельной, целлюлозно-бумажной и лесохимической отраслей, внедрение современных технологий, использование лесных ресурсов с учетом передового опыта Финляндской Республики и других стран с высокоразвитым лесным хозяйством и лесопромышленным комплексом.

Целью реализации Государственной программы является достижение устойчивого, экономически эффективного, экологически ответственного и социально ориентированного управления лесами, лесопользованием, охотой и охотничьим хозяйством. Леса являются природным хранилищем CO<sub>2</sub>, а также способны удерживать в себе большие количества этого газа, поглощая его из атмосферного воздуха. Поэтому увеличение объемов лесных массивов будет способствовать уменьшению концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе.

В то же время лесное хозяйство признано одной из отраслей, на которые изменение климата может оказать наиболее неблаго-приятное воздействие, и разработана *Стратегия адаптации лесного хозяйства к изменению климата до 2050 года*. Ведется работа по разработке концепции такой стратегии для сельского хозяйства. В 2016 – 2019 годах планируется подготовить нормативно-правовую базу и организационную структуру для осуществления конкретных мер в области адаптации к изменению климата.

#### Рекомендации применительно к Республике Беларусь заключаются в следующем

1. Законодательство Республики Беларусь обеспечивает всю необходимую базу для осуществления лесохозяйственной деятельности по выполнению лесами углерододепонирующей функции и поддержания положительного баланса в системе «сток—эмиссия» углекислого газа, создает возможности для увеличения лесным фондом абсорбции атмосферного диоксида углерода, его секвестрации лесной экосистемой в виде углерода надземной и

подземной фитомассы и органического углерода почвы лесных земель.

- 2. Одобрение Правительством Республики Беларусь подготовленного настоящим заданием "Национального плана действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года" обеспечит нормативно-правовое сопровождение мероприятий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом, их планирование, финансирование и контроль за объемом и качеством выполнения государственными органами лесоуправления и другими лесофондодержателями.
- 3. Решение последствий изменения климата, сохранения лесов и их участия в предотвращении негативных погодно-климатических воздействий является глобальной проблемой и нуждается в тесном международном сотрудничестве, а именно применительно к Республике Беларусь:
- привлечение международных средств к решению упомянутых проблем в рамках международных конвенций и соглашений, подписанных Республикой Беларусь;
- вовлечение в сотрудничество заинтересованных организаций, ведомств работающих над сходными задачами на международной или межрегиональной арене;
- проведение международных/межрегиональных конференций, семинаров в целях выявления общих межрегиональных/трансграничных задач и дальнейшего поиска их решений;
- заключение партнерских межрегиональных соглашений/договоров в целях сотрудничества над общими/схожими проблемами и обмена опытом;
- подготовка межрегиональных/международных проектов для осуществления целей, задач и рекомендаций, подготовленных в ходе проведенных конференций и семинаров.

# МЕРОПРИЯТИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА ДЕЙСТВИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ АБСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ЛЕСНЫМ ФОНДОМ БЕЛАРУСИ

## 9.1. Стратегия увеличения абсорбции углекислого газа лесным фондом Беларуси

Наиболее важными программными документами Республики Беларусь, определяющими политику лесного хозяйства в области минимизации негативных погодно-климатических изменений посредством поглощения углекислого газа лесным фондом:

- Указ Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 г.
   № 345 «О принятии международного договора». Принять Парижское соглашение от 22 апреля 2016 г.
- Государственная программа мер по смягчению последствий изменения климата на 2013–2020 годы. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 510.
- Стратегия по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 19.11.2010 № 1707 (в редакции постановления Совета Министров Республики Беларусь 03.09.2015 № 743).
- Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь до 2020 года. Утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь 21.12.2016 № 1061.
- Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года.
   Одобрено протоколом заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 2 мая 2017 г. № 10.
- Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы. Утвержден Заместителем Премьер-

министра Республики Беларусь М.И. Русым 23 декабря 2014 N 06/201-271.

- Государственная программа «Белорусский лес» на 2016—2020 годы. Утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь 18.03.2016 № 215.
- Стратегия адаптации сельского хозяйства Республики Беларусь к изменению климата (Проект) – проект ЕС CLIMAEAST, Минск, 2017.

В рамках реализации положений этих программных документов за последние шесть с половиной десятилетий в лесном фонде Республики Беларусь депонировано 2111 миллионов тонн углерода, что обеспечило вывод из атмосферы 7740 миллионов тонн диоксида углерода. Годичная абсорбция углекислого газа возросла в 2,53 раза и составила в 2017 году 46986 тысяч тонн, что равнозначно компенсации порядка 42% индустриальной эмиссии парниковых газов в стране.

Стратегическими направлениями дальнейшего увеличения роли лесного хозяйства в области изменений климата в XXI веке должны стать следующие меры и действия.

## ■ Изменение режима и направления лесного хозяйства в болотных лесах переходного и верхового типов.

Болотные леса — лесные насаждения, произрастающие на торфяно-болотных почвах. Уникальная экологическая система, обладающая щедрым богатством растительных ресурсов и биологическим разнообразием. Важное аккумулирующее звено в балансе «стока — эмиссии» углекислого газа. На лесоболотный пул приходится порядка 60% общего углерода фитомассы лесного фонда. Порядка 40% углерода болотных лесов законсервированы в виде торфа на длительную секвестрацию. Это очень важно в проблеме парниковых газов.

Вовлечение в малый биологический круговорот почвенного углерода по причине интенсивной минерализации торфа в условиях лесоосушения, вырубки древостоя, нарушения почвенного покрова под воздействием лесных машин чревато выделением в атмосферу углекислого газа в объеме 2,68 т CO<sub>2</sub>/га/год.

Эффективность мероприятия. Повышение биоразнообразия лесов, предоставление экологических услуг в форме туризма, сохранение водоохранной и водорегулирующей роли, предотвраще-

ние эмиссии углекислого газа. Годичная абсорбция углекислого газа +2,05 т  $CO_2$ /га/год.

#### Усиление эффекта от воспроизводства леса на основе применения современных технологий выращивания посадочного материала и искусственного метода лесовосстановления.

Воссоздание леса после промышленной заготовки древесины на основе сплошной рубки методом естественной смены хвойных и лиственных лесов по суходолу с образованием мягколиственных древостоев (осина, береза, ольха серая) вегетативного происхождения, низкой товарности и пониженной продуктивности обеспечивает годичную абсорбцию углекислого газа 3,30 т  $CO_2$ /га/год.

Создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой из семян повышенного селекционного качества обеспечивает годичную абсорбцию 5,13 т  $CO_2$ /га/год.

Эффективность мероприятия. Дополнительная годичная абсорбция углекислого газа + 1,83 т  $CO_2$ /га/год.

## ■ Сохранение средозащитной функции и естественных компонентов лесной экосистемы на этапе «рубка — возобновление леса».

Сегодня в рубки главного пользования вовлечены значительные площади смешанных хвойно-лиственных и лиственно-хвойных лесов естественного происхождения, малонарушенных, разновозрастной структуры, с наличием подроста, подлеска, фаунистического разнообразия и других компонентов лесного насаждения.

Восстановление антропогенно разрушенного типового лесного ландшафта после лесозаготовок с применением современных лесных машин на основе преобладающих сплошных рубок осуществляется методами искусственного или естественного лесовосстановления. Результат естественного лесовосстановления непредсказуем в условиях современного лесного хозяйства и чаще не завершается восстановлением коренного природного ландшафта. Создание искусственной лесной экосистемы с высокой вероятностью ведет к утрате неповторимого генетического, видового и ландшафтного разнообразия, ухудшению экологических функций леса. Годичная абсорбция углекислого газа составит при естественном методе лесовосстановления 3,30 т СО<sub>2</sub>/га/год и искусственном 5,13 т СО<sub>2</sub>/га/год.

Применение несплошных рубок леса (постепенных, добровольно-выборочной), экологощадящая технология рубок, сохранение предварительного подроста при рубке, меры содействия естественному возобновлению, стимулирование сопутствующего естественного возобновления, уход за естественным возобновлением обеспечивают постоянное поддержание средозащитной (полнотой  $\geq 0,6$ ) функции и сохранение естественных компонентов леса на этапе «рубка — возобновление леса». Сокращается на 5—7 лет оборот рубки по сравнению со сплошнолесосечной формой хозяйства. Годичная абсорбция углекислого газа на оборот рубки составляет в среднем 5,58 т  $CO_2$ /га/год.

Эффективность мероприятия. Дополнительная годичная абсорбция углекислого газа + 0,45 т  $CO_2$ /га/год по сравнению со сплошной рубкой и созданием лесных культур посадочным материалом с 3KC и + 2,28 т  $CO_2$ /га/год по сравнению со сплошной рубкой и искусственным методом лесовосстановления.

#### ■ Реконструкция малоценных лесных насаждений.

Заготовленная при реконструкции древесина используется в топливных целях и замещает углеводородное топливо (уголь, нефть, газ). При среднем запасе 60 куб. метров на одном гектаре подлежащего реконструкции древостоя сокращение «эмиссии» (порядка  $86\ {\rm T}\ {\rm CO}_2/{\rm ra}$ ) компенсируется равнозначным сокращением абсорбции углекислого газа.

Созданные после реконструкции лесные культуры обеспечивают средний прирост древесного запаса порядка 3,6 куб. метров/га.

Эффективность мероприятия. Дополнительная годичная абсорбция углекислого газа + 5,13 т  $CO_2$ /га/год за счет создания нормальных насаждений взамен малоценных низкопродуктивных.

#### Использование в топливных целях древесины, заготовленной при уборке захламленности.

Текущий прирост древостоев Беларуси составляет, по экспертным оценкам, ежегодно не менее 70 млн. кубических метров. Из этого объема порядка десяти миллионов не используется, составляет естественный отпад, образуя захламленность. Текущая захламленность увеличивается дополнительно по причине участившихся экстремальных погодно-климатических явлений, вызывающих ветровал и бурелом как отдельных деревьев, так и дре-

востоев. Заготовленная при уборке захламленности древесина пригодна в основном для использования в топливных целях, заменяя углеводородное топливо.

Эффективность мероприятия. Увеличение абсорбции углекислого газа, равнозначное его "эмиссии", при использовании заготовленной при уборке захламленности древесины в топливных целях в количестве 1,4 тСО<sub>2</sub>/куб. метр.

#### Использование в топливных целях порубочных остатков, образуемых при заготовке древесины на рубках главного пользования и прочих рубках.

Использование порубочных остатков не приносит экологического вреда биоразнообразию и почвенному плодородию лесной экосистемы. Как вторичное древесное сырье, используемое в топливных целях, порубочные остатки замещают углеводородное топливо (уголь, нефть, газ), чем сокращают «эмиссию» парниковых газов.

Эффективность мероприятия. Увеличение абсорбции углекислого газа, равнозначное сокращению его "эмиссии", при использовании порубочных остатков в топливных целях в количестве  $1 \text{ T CO}_2/\text{куб}$ . метр.

## ■ Содействие естественному возобновлению в приспевающих и спелых древостоях.

Формирование предварительного подроста целевых пород в количестве  $\geq 4$  тыс. штук/га высотой  $\geq 1,0$  м, запасом  $\geq 5$  куб. метров/га увеличивает абсорбцию углекислого газа и создает предпосылки образования молодого древостоя в год рубки главного пользования.

Эффективность мероприятия. Увеличение абсорбции углекислого газа в количестве 7,2 тонны  $CO_2$ на одном гектаре насаждения с проведенными мероприятиями по содействию естественному возобновлению.

#### • Увеличение средней полноты насаждений.

Эффективность мероприятия. Увеличение средней полноты (P) покрытых лесом земель увеличивает годичную абсорбцию углекислого газа лесным фондом в количестве

$$\pm 0.01$$
P =  $\pm 0.0674$  т CO<sub>2</sub>/га/год.

## • Исключение из лесопользования на длительный срок отдельных лесных массивов.

Сохранение запасов углерода идентифицированными на карте и местности лесными массивами, где в течение 20–25 лет не будут проводиться рубки леса, за исключением санитарных рубок и, возможно, рубок ухода.

Потенциальными территориями для реализации таких проектов являются лесохозяйственные учреждения в зонах высокого радиационного загрязнения или с относительно невысокой расчетной лесосекой при значительных запасах средневозрастных и приспевающих насаждений, возможных для эксплуатации. В этом случае отказ от главного пользования лесом на 20–25 лет не станет критической мерой для осуществления лесохозяйственной деятельности в районе расположения лесохозяйственных учреждений.

Эффективность мероприятия. Величина сохраняемой годичной абсорбции углекислого газа подлежит учету. Предоставляются возможности получения доходов от продажи кредитов, полученых от депонирования лесами углерода (углеродных кредитов). Сохраняемая (дополнительная) годичная абсорбция составит порядка 1,5-2,0 т CO<sub>2</sub>/га/год.

## ■ Лесоразведение на площадях неиспользуемых, малопродуктивных или низкоплодородных сельскохозяйственных земель.

Лесистость Республики Беларусь на 1 января 2017 г. составила 39,8%. Вместе с тем отмечается неравномерная лесистость по административным регионам (от 10,1 до 65,5%), что требует проведения мероприятий на малолесных территориях.

Объектами лесоразведения могут быть нелесные земли лесного фонда, небольшие площади неиспользуемых и малопродуктивных сельскохозяйственных земель, целесообразные к перепрофилированию под залесение низкоплодородные и убыточные для земледелия участки сельскохозяйственных земель.

Эффективность мероприятия. Создание покрытых лесом земель на площадях лесоразведения обеспечивает дополнительную годичную абсорбцию углекислого газа порядка +4,0 т  $CO_2$ /га/год.

## ■ Создание культур ели под пологом низко/среднеполнотных средневозрастных березовых и сосновых насаждений

#### (подпологовые культуры) в сериях типов леса орляковой, черничной, кисличной и снытевой.

Подпологовые культуры ели к возрасту главной рубки основного яруса древостоя образуют второй ярус. В возрасте 40–50 лет при средней полноте 0,5–0,6 подпологовые культуры ели формируют запас порядка 90–120 куб. метров/га.

Эффективность мероприятия. Дополнительная годичная абсорбция углекислого газа +3,36 т  $CO_2$ /га/год за счет более полного использования ресурсов солнечной энергии и почвенного плодородия лесной экосистемы.

# 9.2. Мероприятия Национального плана действий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом Беларуси на период до 2030 года

Реализацию мероприятий настоящего Национального плана предполагается осуществлять в рамках выполнения государственных программ по развитию лесного хозяйства в пределах предусмотренного финансирования, а также путем привлечения внебюджетных средств и иностранных финансовых ресурсов, иных источников, не запрещенных законодательством. Ниже прилагаются (таблицы 51–55) мероприятия и их объемы в разрезе ведомств по управлению лесами, ожидаемые результаты увеличения абсорбции углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь и др.

Планируемые в таблицах 51–54 лесохозяйственные и другие мероприятия позволяют лесохозяйственной отрасли сохранить на ближайшую перспективу достигнутый, предельно высокий для лесной экосистемы Беларуси, «сток» в лесном фонде атмосферного диоксида углерода в объеме порядка сорока семи миллионов тонн ежегодно. Текущий высокий уровень годичной абсорбции углекислого газа обусловлен сложившейся возрастной структурой лесов с преобладанием средневозрастных древостоев, которые характеризуются максимальным текущим приростом углерододепонирования. Сохранению запасов углерода в лесах способствуют также относительно невысокие, по сравнению с экологически допустимыми, объемы заготовки древесины в лесах Беларуси по причине как невысокого удельного веса спелых древостоев, так и природоохранного отношения белорусского общества к лесу. Динамика возрастной

структуры лесов уже в ближайшей перспективе изменит ситуацию. Спелые древостои будут вовлекаться в рубку как по хозяйственным, так и по экологическим соображениям. Спелые древостои накопили в прошлом высокие запасы углерода. Но в текущей перспективе снижают годичную абсорбцию углекислого газа, а приближаясь к биологическому возрасту развития древостои становятся источником «эмиссии» углекислого газа, что сегодня наблюдается в старовозрастных лесах заповедников и национальных парков.

Таблица 51 Мероприятия по улучшению институциональной среды Национального плана действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года

	Срок
Наименование мероприятий	выполнения,
	годы
1. Разработка отраслевой программы по увеличению средней	2019
полноты лесных насаждений	
2. Отражение в Государственном лесном кадастре сведений:	2025
углерод лесного фонда общий;	
углерод фитомассы лесного фонда;	
общее изменение депонированного лесным фондом углерода	
3. Отражение в «Правилах определения и утверждения расчет-	2020
ной лесосеки по рубкам главного пользования в лесах Респуб-	
лики Беларусь» показателя:	
- масса углерода, депонированного в древесине принятой рас-	
четной лесосеки, не должна превышать годичную его абсорб-	
цию от планируемых целевых мероприятий по повышению уг-	
леродопродуктивности лесов и нелесных земель лесного фонда	
4. Разработка в лесоустроительных проектах раздела «Меро-	2025
приятия по увеличению абсорбции углекислого газа лесным	
фондом»	
5. Разработка ТКП «Правила расчетов поглощения и выбросов	2021–2023
парниковых газов компонентами лесного фонда»	
6. Составление Базы данных «Болотные леса переходного и	2019
верхового типов, возможные для эксплуатации, нерентабель-	
ные для лесозаготовок, используемые в режиме секвестрации	
углерода»	
7. Отражение в Правилах рубок леса в Республике Беларусь	2020
положения:	
- не допускаются рубки главного пользования в болотных ле-	
сах переходного и верхового типов, используемых в режиме	
секвестрации углерода и сохранения биоразнообразия	

Таблица 52 Объемы работ по выполнению мероприятий Национального плана действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года

		commit (sieca, oosiora) na nep		
		Республиканские органы	Планир	
No	Наименование	государственного	объем ме	
п/п	мероприятий	управления	тий на п	ериоды
11/11	мероприятии	и другие ведомства	2018-	2026-
		и другие ведометва	2025 гг.	2030 гг.
1	Изменение в болотных	Республика Беларусь	220,0	238,6
	лесах переходного и вер-	Министерство лесного хо-	220,0	238,6
	хового типов режима и	зяйства,		
	направления лесного хо-	в том числе:		
	зяйства на природоохран-		30,9	30,9
	ный режим. Исключение		79,6	80,2
	из лесозаготовок лесных	I directibelice I III II C	30,0	30,9
	земель серий типов леса:		9,5	9,5
	багульниковая, сфагновая,	Минское ГПЛХО	35,0	48,5
	осоково-сфагновая и ивня-	Могилевское ГПЛХО	35,0	38,6
	ковая, тыс. га			r
2	Создание лесных культур		60420	52045
	сеянцами с закрытой кор-	Министерство лесного хо-	59250	51350
	невой системой, га	зяйства,		
		в том числе:		
		Брестское ГПЛХО	7650	9480
		Витебское ГПЛХО	12750	9480
		Гомельское ГПЛХО	12750	9085
		Гродненское ГПЛХО	3800	3160
		Минское ГПЛХО	12100	10270
		Могилевское ГПЛХО	10200	9875
		Управление делами Прези-	950	550
		дента Республики Беларусь		
		Министерство образования	25	25
		НАН Беларуси	19	120
3	Несплошные рубки глав-	Республика Беларусь	29760	41430
	ного пользования лесом, га	Министерство лесного хо-	27280	39500
		зяйства,		
		в том числе:		
		Брестское ГПЛХО	5600	6500
		Витебское ГПЛХО	1040	8000
		Гомельское ГПЛХО	1040	7500
		Гродненское ГПЛХО	3600	3500
		Минское ГПЛХО	8800	7500
		Могилевское ГПЛХО	7200	6500
		Управление делами Прези-	2000	1500
		дента Республики Беларусь		
		Министерство обороны	320	250
		Министерство образования	80	90
		НАН Беларуси	80	90

Продолжение табл. 52

	T	1100	должение	
		Республиканские органы	Планир	уемый
№	Наименование	государственного	объем ме	
$\Pi/\Pi$	мероприятий	управления	тий на п	
11/11	мероприятии	и другие ведомства	2018–	2026–
			2025 гг.	2030 гг.
4.	Реконструкция малоцен-	Республика Беларусь	46,4	25,8
	ных лесных насаждений,	Министерство лесного хо-	42,3	22,4
	тыс. га	зяйства,		
		в том числе:		
		Брестское ГПЛХО	7,9	4,2
		Витебское ГПЛХО	7,9	4,2
		Гомельское ГПЛХО	8,8	4,7
		Гродненское ГПЛХО	4,5	2,3
		Минское ГПЛХО	7,3	3,9
		Могилевское ГПЛХО	5,9	3,1
		Управление делами Прези-	3,4	2,6
		дента Республики Беларусь		
		Министерство обороны	0,4	0,4
		Министерство образования	0,1	0,1
		НАН Беларуси	0,2	0,3
5.	Использование в топлив-	Республика Беларусь	1770	1770
	ных целях древесины, за-	Министерство лесного хо-	1560	1560
	готовленной при уборке	зяйства,		
	захламленности, тыс. куб.	в том числе:		
	метров	Брестское ГПЛХО	150	150
		Витебское ГПЛХО	330	330
		Гомельское ГПЛХО	350	350
		Гродненское ГПЛХО	130	130
		Минское ГПЛХО	320	320
		Могилевское ГПЛХО	280	280
		Управление делами Прези-	170	170
		дента Республики Беларусь	20	20
		Министерство обороны	20	20
		Министерство образования	10	10
	11	НАН Беларуси	10	10
6.	Использование в топлив-		1565	3975
	ных целях порубочных	Министерство лесного хо-	1380	3800
	остатков, образуемых при			
	заготовке древесины на		150	500
	рубках главного пользования и прочих, тыс. куб.		150 300	500 700
	метров		300	700
	Метров	Гомельское ГПЛХО	120	400
		Гродненское ГПЛХО Минское ГПЛХО	260	800
		Могилевское ГПЛХО	250	700
		Управление делами Прези-	140	140
		дента Республики Беларусь	140	140
		Министерство обороны	30	20
		Министерство обороны	10	10
		НАН Беларуси	5	5
		111 111 Donapjon	J	

Окончание табл. 52

	T			
		Республиканские органы	Планир	
№	Наименование	государственного	объем ме	
п/п	мероприятий	управления	тий на п	-
11,11		и другие ведомства	2018–	2026-
		1.0	2025 гг.	2030 гг.
7.	Содействие естественно-	Республика Беларусь	27840	26740
	му возобновлению в при-	Министерство лесного хо-	26400	25700
	спевающих и спелых дре-	зяйства,		
	востоях, га	в том числе:		
		Брестское ГПЛХО	3200	3750
		Витебское ГПЛХО	6000	4950
		Гомельское ГПЛХО	6000	4500
		Гродненское ГПЛХО	2000	4250
		Минское ГПЛХО	5200	4500
		Могилевское ГПЛХО	4000	3750
		Управление делами Прези-	1200	750
		дента Республики Беларусь		
		Министерство обороны	100	150
		Министерство образования	70	70
		НАН Беларуси	70	70
8.	Увеличение средней пол-	Республика Беларусь	+0,016	+0,044
	ноты насаждений по от-	Министерство лесного хо-	+0,016	+0,044
	ношению к 2017 году на:	зяйства,		
	+0,016 (2025 год);	в том числе:		
	+0,044 (2030 год)	Брестское ГПЛХО	+0,016	+0,044
		Витебское ГПЛХО	+0,016	+0,044
		Гомельское ГПЛХО	+0,016	+0,044
		Гродненское ГПЛХО	+0,016	+0,044
		Минское ГПЛХО	+0,016	+0,044
		Могилевское ГПЛХО	+0,016	+0,044
		Управление делами Прези-	+0,016	+0,044
		дента Республики Беларусь		
		Министерство обороны	+0,016	+0,044
		Министерство образования	+0,016	+0,044
		Министерство по чрезвы-	+0,016	+0,044
		чайным ситуациям		
		НАН Беларуси	+0,016	+0,044
9.	Исключение из лесополь-	Республика Беларусь	30,0	200,0
	зования на длительный	1	30,0	200,0
	срок отдельных лесных	зяйства,		
	массивов, тыс. га	в том числе:		
		Брестское ГПЛХО	10,0	30,0
		Витебское ГПЛХО	10,0	90,0
		Гомельское ГПЛХО	10,0	80,0

Таблица 53 Ожидаемые результаты реализации мероприятий Национального плана действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года

Республиканские органы	Дополнительная абсорбция углекислого газа за периоды, тыс. тСО <sub>2</sub>		
государственного управления и другие ведомства	2018– 2025 гг.	2026– 2030 гг.	Итого 2018– 2030 гг.
Республика Беларусь	7900,9	16301,0	24201,9
Министерство лесного хозяйства,	7480,2	15101,3	22581,5
в том числе:			
Брестское ГПЛХО	1091,6	2241,7	3333,3
Витебское ГПЛХО	2077,0	3796,9	5873,9
Гомельское ГПЛХО	1337,9	3412,0	4749,9
Гродненское ГПЛХО	563,7	1257,7	1821,4
Минское ГПЛХО	1274,6	2436,2	3710,8
Могилевское ГПЛХО	1135,4	1956,8	3092,2
Управление делами Президента Республи-	302,4	854,4	1156,8
ки Беларусь			
Министерство обороны	35,0	102,2	137,2
Министерство образования	13,0	36,3	49,3
Министерство по чрезвычайным ситуациям	52,0	154,0	206,0
НАН Беларуси	18,3	52,8	71,1

Решение задачи поддержания годичной абсорбции углекислого газа в лесном фонде может быть достигнуто на путях повышения продуктивности лесов. В этом отношении перспективны планируемые Национальным планом лесохозяйственные мероприятия по созданию лесных культур сеянцами высоких селекционных характеристик с закрытой корневой системой, реконструкции малоценных лесных насаждений, сокращению оборота рубки при несплошных способах рубки леса на путях сохранения подроста и предварительного содействия естественному возобновлению. Указанные мероприятия являются механизмом долговременного воздействия на повышение продуктивности лесного насаждения. Высокие ожидания связаны также с многоплановыми действиями по увеличению средней полноты насаждений, на увеличение которой обращали мало внимания лесоводы республики в прошлом, но где возможны высокие прибавки прироста древесных запасов на путях совершенствования лесовосстановления и ухода за лесом.

Таблица 54 Планируемые показатели годичной абсорбции углекислого газа согласно Национальному плану действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года, тыс. т СО2/год

Республиканские органы	Годы		
государственного управления	2017	2025	2030
и другие ведомства	2017	2025	2030
Республика Беларусь	46986	47012,9	47249,0
Министерство лесного хозяйства,	42585	42605,2	42630,3
в том числе:			
Брестское ГПЛХО	5990	4111,6	5152,7
Витебское ГПЛХО	8150	9604,0	6755,9
Гомельское ГПЛХО	8996	9966,9	11495,0
Гродненское ГПЛХО	5041	4145,7	3677,7
Минское ГПЛХО	7820	8057,6	8093,2
Могилевское ГПЛХО	6588	6719,4	7455,8
Управление делами Президента Республи-	2896	2872,4	3035,4
ки Беларусь			
Министерство обороны	348	324,0	212,2
Министерство образования	154	156,0	179,3
Министерство по чрезвычайным ситуациям	681	733,0	835,0
НАН Беларуси	238	238,3	272,8
Местные исполнительные и распорядитель-	84	84	84
ные органы			

Болотные леса, занимая 18,6% общей площади, обеспечивают почти половину бюджета углерода в лесном фонде Беларуси. Важно сохранить и усилить углерододепонирующую функцию болотных лесов. Некоторая часть болотных лесов вовлечена в лесопользование, а при возрастающих темпах строительства лесных дорог их лесозаготовительная функция может быть расширена. В условиях интенсивного прироста спелых лесов по суходолу целесообразно снизить лесозаготовки в болотных лесах. В этом отношении планируемые Национальным планом изменения направления лесного хозяйства в сторону усиления природоохранного режима целесообразны и весьма эффективны как в целях углерододепонирования, так и сохранения и повышения биоразнообразия лесов.

Лесное хозяйство выполняет мероприятия по оптимизации возрастной и породной структуры лесов. Эти вопросы нашли отражение в экспертных оценках настоящего отчета. Оценки влияния изменений возрастной и породной структуры лесов Беларуси

на величину абсорбции ими углекислого газа неоднозначны по причине баланса эколого-экономических интересов и пока неоднозначно определяемого вектора воздействия погодно-климатических изменений на лесную экосистему Беларуси. Изменение возрастной структуры лесов осуществимо за длительные (многие десятилетия) периоды. Идеальная возрастная структура лесов, так называемый «нормальный» лес в видении лесоводов, и сопутствующее ему равномерное лесопользование, по величине годичной абсорбции углекислого газа вдвое меньше вышеназванного текущего уровня годичной абсорбции. По этой причине в нашем отчете сдержанно рассматривается вопрос оптимизации возрастной структуры лесов. Равно как и корректировать действующую программу оптимизации породной структуры лесов Беларуси считаем нецелесообразным. Изменение породной структуры лесов Беларуси в любых пропорциях древесных пород, с учетом баланса эколого-экономических интересов, не изменит величину годичной абсорбции лесами углекислого газа.

Указанные и другие мероприятия по увеличению абсорбции углекислого газа в лесном фонде нуждаются в совершенствовании институциональной среды углерододепонирования лесов, что нашло отражение в таблице 51.

Законодательная база реализации возможностей лесов Беларуси в области углерододепонирования и стабилизирующего влияния на негативное проявление погодно-климатических изменений достаточная. В этом плане сошлемся на Указ Президента от 20 сентября 2016 г. №345 с решением принять Парижское соглашение от 22 апреля 2016 г., Государственную программу мер по смягчению последствий изменения климата на 2013—2030 годы и другие.

В рамках лесохозяйственной отрасли необходима разработка отдельных актов, приведенных в таблице 51. Среди них отметим необходимость мониторинга углеродных потоков посредством Государственного лесного кадастра, учета углерододепонирования при обосновании расчетной лесосеки, более углубленного отражения мероприятий по углерододепонированию в лесоустроительных проектах. Необходимо актуализировать и придать статус ТКП действующему методическому документу по расчетам поглощения и выбросов углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь.

В таблице 52 приведены предложения о целесообразных мероприятиях по увеличению абсорбции углекислого газа в лесном

фонде с указанием объемов и периодов их проведения. Заметно, что порядка 94% объемов планируемых мероприятий приходится на Министерство лесного хозяйства — основного лесофондодержателя. Тем не менее, в работу вовлечены также и другие органы государственного управления лесами. Со временем их участие в мероприятиях по абсорбции углекислого газа лесами, несомненно, будет возрастать.

В связи с прогнозируемым увеличением объемов заготовки древесины (таблица 20), снижением запасов углерода и увеличением «эмиссии» углекислого газа в лесном фонде Беларуси (таблица 21) возникла необходимость поиска путей компенсации ожидаемой за 2018-2030 гг. «эмиссии» углекислого газа в объеме 23912 тыс. тСО<sub>2</sub>. Реализация запланированных в Национальном плане мероприятий (таблица 53) предусматривает дополнительную абсорбцию углекислого газа лесным фондом в объеме 24 201,9 тыс. тСО<sub>2</sub>, что возмещает ожидаемую «эмиссию» от вывоза углерода в планируемых объемах заготовки древесины. Компенсация ожидаемой «эмиссии» углекислого газа обеспечивается дополнительной (сверх сложившейся) абсорбцией от следующих мероприятий и их доли в общем итоге: увеличение средней полноты насаждений – 30 %; использование в топливных целях порубочных остатков от рубок главного пользования и прочих рубок – 23 % и древесины, заготовленной при уборке захламленности – 20 %; изменение режима использования болотных лесов – 10 %; исключение рубок леса на длительный срок в отдельных лесных массивах – 9,2 %; несплошные рубки главного пользования – 3,2 %; создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой – 2,8 %; реконструкция малоценных лесных насаждений – 2,5 % и содействие естественному возобновлению в приспевающих и спелых древостоях – компенсация 2,5 % от ожидаемой «эмиссии» углекислого газа.

В таблице 54 установлены для республиканских органов государственного управления лесами и других ведомств (ГПЛХО) планируемые показатели годичной абсорбции углекислого газа согласно Национальному плану. В целях учета и отчетности по установленным в таблице 48 показателям предложены методические рекомендации (таблица 55) по расчету увеличения абсорбции углекислого газа от целевых мероприятий в лесном фонде Республики Беларусь.

Таблица 55 Расчет увеличения абсорбции углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь от целевых мероприятий, предусмотренных Национальным планом действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года

Наименование целевого мероприятия	Исходные показатели	Формула расчета
правления лесного хозяйства	$S_1$ : Площадь целевого мероприятия 1, [га]. $N_1$ : Продолжительность учетного периода мероприятия 1 с измененным режимом, [годы]. $K_1$ : Коэффициент эффективности целевого мероприятия 1, $K_1 = 2,05\ \text{тCO}_2/\text{га/год}$ .	$A_1 = 2,05 \; S_1 \; N_1,$ где $A_1$ — дополнительная абсорбция углекислого газа от изменения режима болотных лесов, [т $CO_2$ ].
	$S_2$ : Площадь целевого мероприятия 2, [га]. $N_2$ : Продолжительность учетного периода мероприятия 2 от года создания культур, [годы]. $K_2$ : Коэффициент эффективности целевого мероприятия 2, $K_2 = 1,83 \ \text{тCO}_2/\text{га/год}$ .	$A_2 = 1,83 \ S_2 \ N_2,$ где $A_2$ — дополнительная абсорбция углекислого газа от создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой, [т $CO_2$ ].
ной системы «несплошная	$S_3$ : Площадь одноразового учета несплошных рубок главного пользования после перевода естественного возобновления в категорию ценных лесных насаждений, [га]. $N_3$ : Сокращение оборота рубки насаждения по сравнению со сплошной рубкой и искусственным лесовосстановлением, [годы]. $K_3$ : Коэффициент эффективности целевого мероприятия 3, $K_3 = 2,28 \text{ тCO}_2/\text{га/год}$ .	$A_3 = 2,28 S_3 N_3,$ где $A_3$ — дополнительная абсорбция углекислого газа от сокращения оборота рубки при несплошной рубке с сохранением подроста и мерами содействия возобновлению, [тСО <sub>2</sub> ]

Продолжение табл. 55

Наименование целевого мероприятия	Исходные показатели	Формула расчета
4. Реконструкция малоценных лесных насаждений	$S_4$ : Площадь насаждений с проведенной реконструкцией. Учет площади после достижения цели мероприятия, [га]. $N_4$ : Продолжительность периода от года достижения цели мероприятия 4 до учетного, [годы]. $K_4$ : Коэффициент эффективности мероприятия 4, $K_4 = 5,13 \ \text{тCO}_2/\text{га/год}$ .	$A_4 = 5,13 \text{ S}_4 \text{ N}_4,$ где $A_4$ — дополнительная абсорбция углекислого газа от замены малоценного лесного насаждения более ценным, [тСО <sub>2</sub> ]
5. Уборка захламленности с использованием заготовленной древесины в топливных целях	$V_5$ : Объем заготовленной древесины при уборке захламленности, использованной в топливных целях, [куб. метр]. $K_5$ : Коэффициент абсорбции атмосферного диоксида углерода при образовании единицы древесного сырья захламленности, $K_5 = 1,4 \ \text{тCO}_2/\text{куб. метр.}$	$A_5 = 1,4 \text{ V}_5,  (2.24)$ где $A_5$ — объем замещения «эмиссии» парниковых газов на абсорбцию углекислого газа при замещении углеводородного топлива древесным сырьем от уборки захламленности, [ $TCO_2$ ]
	$V_6$ : Объем порубочных остатков, образуемых при заготовке древесины на рубках главного пользования и прочих рубках и используемых в топливных целях, [куб. метр]. $K_6$ : Коэффициент абсорбции атмосферного диоксида углерода при образовании единицы древесного сырья порубочных остатков, $K_6 = 1,0 \text{ тCO}_2/\text{куб. метр.}$	

Продолжение табл. 55

Наименование целевого мероприятия	Исходные показатели	Формула расчета
7. Содействие естественному возобновлению в приспевающих и спелых древостоях	$S_7$ : Площадь приспевающих и спелых насаждений с проведенными мерами содействия естественному возобновлению. Учет площади при наличии подроста целевых пород $\geq 4$ тыс. штук/га, высотой $\geq 1,0$ м, запасом $\geq 5$ куб. метров/га, [га]. $N_7$ : Продолжительность периода от формирования достаточного подроста до года главной рубки спелого древостоя, [годы]. $K_7$ : Коэффициент эффективности мероприятия 7, $K_7 = 7,2$ т $CO_2$ /га.	$A_7 = 7,2 S_7 N_7,$ где $A_7$ – объем увеличения абсорбции углекислого газа насаждением с наличием подроста, [ $TCO_2$ ].
8. Увеличение средней полноты насаждений	$P_{\text{тек}}$ : Сотая доля единицы полноты покрытых лесом земель структурного подразделения лесного хозяйства года учетного. $P_{\text{исх}}$ : Сотая доля единицы полноты покрытых лесом земель структурного подразделения лесного хозяйства года исходного. $N_8$ : Продолжительность анализируемого периода, [годы]. $K_{0,01P}$ : Изменение годичной абсорбции углекислого газа покрытых лесом земель Республики Беларусь, приходящееся на одну сотую единицы полноты, $\pm 0,01P = \pm 0,0674 \text{ тCO}_2/\text{га}$ .	$A_8 = 0.0377 \ (P_{\text{тек}} - P_{\text{исх}}) \ N_8,$ где $A_8$ — объем абсорбции углекислого газа от мероприятий, обеспечивающих увеличение средней полноты покрытых лесом земель структурного подразделения лесного хозяйства, [ $\text{TCO}_2$ ].

Окончание табл. 55

Наименование целевого мероприятия	Исходные показатели	Формула расчета
	$S_9$ : Площадь лесных массивов, где в течение длительного срока не будут проводиться рубки леса, [га]. $N_9$ : Продолжительность непроведения рубок леса, [годы]. $K_9$ : Объем сохраняемой годичной абсорбции углекислого газа от непроведения рубок леса в рамках мероприятия 9, $K_9 = (1,5-2,0) \text{ тCO}_2/\text{га/год}.$ Величина $K_9$ подлежит уточнению в конкретных условиях.	$A_9 = (1,5-2,0) S_9 N_9,$ где $A_9$ — объем сохраняемой годичной абсорбции углекислого газа при исключении из лесопользования отдельных лесных массивов, [тСО <sub>2</sub> ].
щадях неиспользуемых, малопродуктивных или низко-	$S_{10}$ : Площадь переданных под лесоразведение земель, [га]. $N_{10}$ : Продолжительность периода от года облесения до	го газа лесными насаждениями
пологом среднеполнотных средневозрастных березовых	$S_{11}$ : Площадь создания подпологовых культур ели, [га]. $N_{11}$ : Продолжительность периода от года создания подпологовых культур ели до учетного года, [годы]. $K_{11}$ : Увеличение годичной абсорбции углекислого газа насаждением за счет более полного использования ресурсов солнечной энергии и почвенного плодородия, $K_{11} = 3,36 \text{ тCO}_2/\text{га/год}$ .	$A_{11} = 3,36 \; S_{11} \; N_{11},$ где $A_{11}$ — дополнительная абсорбция углекислого газа лесным насаждением от формирования нижнего яруса древостоя из подпологовых культур ели, [ $TCO_2$ ]

#### выводы и рекомендации

- 1. Климатические изменения последних десятилетий по мнению большинства человечества вызваны ростом концентрации парниковых газов в атмосфере планеты. Основными парниковыми газами, способными дестабилизировать состояние атмосферы, являются углекислый газ, метан, закись азота и фторхлоруглероды. В общем объеме парниковых газов преобладает углекислый газ – 76%. Поглощение веществ лесными растениями осуществляется в процессе питания. Различают углеродное, или воздушное, питание растений (фотосинтез), водное (водород и кислород), азотное и минеральное. Азотное питание происходит через корни за счет минерализованного аммиачного азота. Удельный вес поглощения растениями закиси азота незначительный по сравнению с азотфиксацией атмосферного молекулярного азота. Существенного влияния лесов на снижение парникового эффекта это не оказывает. Основным биологическим стоком метана из атмосферы считается его окисление в почве. Поглощение метана лесным фондом не слишком значительное, около 0,5 млн. тонн в эквиваленте СО<sub>2</sub>. Естественное поглощение фторхлоруглеродов лесными насаждениями Республики Беларусь не превышает 4 тонны в год. Функция леса и других растительных сообществ лесного фонда, как поглотителей парниковых газов, реализуется главным образом через поглощение углекислого газа при первичном синтезе органических веществ (фотосинтез). В этой связи подготовленный по данному заданию Национальный план действий в лесах и болотах по парниковым газам касается планирования мероприятий по увеличению абсорбции углекислого газа как абсолютно преобладающего среди парниковых газов на всех видах земель лесного фонда Республики Беларусь.
- 2. Изложены исходные посылки для балансовых расчетов углеродных потоков в лесах, применяемые в методике МГЭИК. Анализируются методические подходы по учету бюджета углерода в лесах Российской Федерации (FCA), Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской Академии наук (РОБУЛ). Рассматривается модель расчета углеродного бюджета

СВМ-CFS, применяемая Национальной системой мониторинга и учета углерода Канады. Описана имитационная компьютерная модель EFIMOD-2, предложенная Институтом физико-химических и биологических проблем почвоведения (Россия) и Европейского института леса (Финляндия). Также анализируются: российская математическая имитационная модель FORRUS-S, Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода (В.А. Усольцев) и другие. Сделан вывод о целесообразности применения в лесном фонде Беларуси утвержденной Министерством лесного хозяйства "Методики оценки годичных потоков "стока-эмиссии" углекислого газа и общего депонирования углерода лесами Республики Беларусь" [6]. Обоснованы ключевые показатели белорусской методики определения абсорбции углекислого газа лесами и технология сбора и обработки материалов по углеродным потокам в лесах. Рассмотрены возможности использования ГИС "Лесные ресурсы", картографической и таксационной базы данных "Лесные ресурсы" для оценки запасов углерода в лесах и других компонентах лесного фонда. Объединенные картографическая и таксационная базы данных ГИС "Лесные ресурсы" позволяют производить расчет абсорбции парниковых газов на любой участок лесного фонда и по любой методике. Сделаны итоговые выводы и предложения по учету абсорбции углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь. Применение Методики [6] обеспечивает достаточно высокую точность расчетов депонирования углерода лесами Беларуси, что объясняется использованием постоянно обновляемой повыдельной и картографической базы данных ГИС «Лесные ресурсы». Это дает основание придать Методике [6] более высокий статус нормативного акта, а именно ТКП «Правила расчетов поглощения и выбросов парниковых газов компонентами лесного фонда». Такое мероприятие включено в «Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года». Расчеты парниковых газов в лесном фонде [6] ограничены углекислым газов по причине абсолютно несущественного поглощения/выделения лесами других парниковых газов, как закись азота, метан, фторхлоруглероды.

3. При учете выбросов и поглощения парниковых газов лесными экосистемами наиболее объективная информация может

быть получена при непосредственных измерениях потоков СО2 между атмосферой и лесной экосистемой на основе микрометеорологического метода микровихревых пульсаций (eddy covariance) вдоль вертикального профиля «экосистема – атмосфера». Данный метод требует применения дорогостоящего оборудования, большого объема натурных наблюдений, а полученные результаты углеродных обменов будут ограничены временными рамками и отдельными участками и не представляют возможным установить баланс углеродных обменов между лесной экосистемой в целом и атмосферой. Все другие применяемые подходы в расчетах углеродных потоков в лесах исходят из методики МГЭИК, а именно: FCA (Российская Федерация), РОБУЛ (Российская Академия наук), CBM-CFS (Канада), Европейского института леса (Финляндия) и другие. Исходной методической базой для расчетов накопления углерода и абсорбции углекислого газа в лесном фонде Беларуси является методика международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). С использованием принципов методики МГЭИК разработана Методика [6] для расчета углеродных потоков в лесном фонде Беларуси. Вышеприведенные ключевые показатели (таблицы 1-6) применяются для расчета углеродных потоков в лесном фонде Республики Беларусь на основе утвержденной Методики [6]. Применение Методики [6] обеспечивает достаточно высокую точность расчетов депонирования углерода лесами Беларуси, что объясняется использованием постоянно обновляемой повыдельной и картографической базы данных ГИС «Лесные ресурсы». Это дает основание придать Методике [6] более высокий статус нормативного акта, а именно ТКП «Правила расчетов поглощения и выбросов парниковых газов компонентами лесного фонда». Такое мероприятие включено в «Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года». Расчеты парниковых газов в лесном фонде [6] ограничены углекислым газов по причине абсолютно несущественного поглощения/выделения лесами других парниковых газов, как закись азота, метан, фторхлоруглероды. При разработке ТКП необходимо учесть следующие положения и выводы лучших мировых методик этого направления:

• Объединенная повыдельная и картографическая базы данных ГИС «Лесные ресурсы» позволяет производить расчет абсорбции парниковых газов на любой участок лесного фонда и по

любой методике, исходными данными в которых является геоинформационная система. Объединенная геоинформационная система имеет один существенный недостаток, заключающийся в неполной увязке повыдельной и картографической баз данных по прошествии определенного времени после базового лесоустройства.

- Наличие электронных картографических баз данных на весь лесной фонд республики предопределяет разработку программного комплекса по непрерывному внесению происходящих изменений в лесном фонде как в таксационную, так и в картографическую базы данных юридическими лицами, ведущими лесное хозяйство, с передачей данных на центральный сервер.
- В целях более полного учета объема поглощенного углерода участками лесного фонда необходимо разработать (доработать) методики оценки абсорбции парниковых газов не покрытыми лесом землями, участками не сомкнувшихся лесных культур и отдельными видами нелесных земель (болота, угодья и др.), а также участками древесно-кустарниковой растительности, не входящими в лесной фонд, коих в республике по данным земельного кадастра числится порядка одного миллиона га.
- Для оценки текущего среднегодового объема абсорбции парниковых газов имеется возможность более широкого использования данных лесного мониторинга постоянных пунктов учета, расположенных на транснациональной сети (16х16 км) и покрывающих всю территорию лесного фонда республики.
- 4. Несмотря на обширные и глубокие исследования по депонированию углерода лесами и его влияния на климат планеты, многие вопросы освещены недостаточно. К ним относятся определение запасов и приростов углерода древостоями Беларуси в разрезе классов возраста и перспективы этого накопления.
- Общие запасы углерода, депонированного сосновыми древостоями, составляют 230,5 млн. тонн. Наибольшее накопление углерода наблюдается в 3 (65,3 млн. тонн), 4 (97,2 млн. тонн) и в 5 классе возраста (43,1 млн. тонн). Молодняки, в силу их небольших средних запасов на 1 га и относительно небольших площадей, накапливают значительно меньше углерода: 1 класс 2,9 млн. тонн, 2 класс 11,8 млн. тонн. Начиная с 6 класса возраста накопление углерода резко уменьшается из-за небольших площадей сосняков в этом возрасте. Уменьшение площади сосняков в старшем воз-

расте приводит к тому, что среднее изменение запаса углерода в стволовой древесине растущего насаждения начинает уменьшаться уже в 5 классе возраста и продолжается в остальных классах возраста. В среднем для сосновых древостоев текущее ежегодное изменение запаса углерода остается почти стабильным (15 тыс. тонн). Увеличение расчетной лесосеки будет приводить к сокращению высоковозрастных древостоев и уменьшению ежегодного депонированного углерода в стволовой древесине.

- Годичный текущий прирост углерода по классам возраста включает в себя и углерод, депонированный в отпаде, что составляет 8 млн. тонн или 4 % от углерода, остающегося в стволовой древесине. На 01.01.2031 года запасы углерода в сосновых древостоях практически остаются стабильными. Уменьшение общих запасов углерода незначительное и составляет всего 2 %. Это вызвано тем, что основные накопители углерода 3, 4 и 5 классы возраста имеют достаточно большие площади, и расчетная лесосека к 2030 году существенно не увеличивается. На 01.01.2031 года среднее изменение запаса углерода на 1 га по классам возраста также изменится незначительно: от 15,4 до 21,4 тыс. тонн. После 2030 года изменения накопления углерода в сосновых древостоях будет более существенными в силу того, что значительно увеличится расчетная лесосека, а запасы насаждений 3 и 4 классов возраста уменьшатся.
- В настоящее время возрастная структура сосновых древостоев не соответствует теории нормального леса, т.к. имеется большой недостаток молодняков и определенный недостаток спелых древостоев при преобладании средневозрастных насаждений. Даже оптимальное распределение древостоев по классам возраста в соответствии с теорией нормального леса при действующих возрастах рубки не гарантирует максимальное накопление углерода в силу того, что возрасты рубки установлены по технической спелости на крупную и среднюю деловую древесину, и не отражают возможность накопления максимальных запасов древесины по хозсекции за весь период жизни древостоя.
- Максимальное накопление углерода в целом по сосновой хозсекции возможно при установлении возрастов рубки по экологической спелости. Экологическая спелость леса определяется по максимальному среднему приросту углерода за весь период жизни древостоя на всей площади хозсекции.

- Экологическая спелость древостоев сосны соответствует 6 классу возраста, т.е. 101–120 лет. В соответствии с экологической спелостью леса и теорией нормального леса оптимальное распределение древостоев по классам возраста следующее: 1 класс возраста 18 %, 2 17 %, 3 17 %, 4 16 %, 5 16 %, 6 класс возраста 16 %.Оптимальная возрастная структура сосновых древостоев может быть достигнута не ранее 2050–2060 годов. Для достижения оптимальной возрастной структуры сосновых древостоев между 2031 и 2050 годами придется несколько ограничить величину расчетной лесосеки. Так как к этому возрасту современные средневозрастные приспевающие насаждения перейдут в категорию спелых, то их полная вырубка приведет к последующему резкому уменьшению объема лесопользования, что противоречит теории нормального леса.
- Для увеличения депонирования углерода сосновыми насаждениями и оптимизации их возрастной структуры возможно проведение следующих мероприятий:
- посадка культур сосны на лесосеках, где вырублены березовые древостои. До 2031 года можно ожидать вырубки 500 тыс. га березовых древостоев (230 тыс. га спелых и около 200 тыс. га приспевающих, которые за 10 лет перейдут в спелые). Из этого количества культуры сосны можно создавать примерно на половине этой площади, а может и больше, по 10–15 тыс.га ежегодно;
- реконструкция малоценных березовых древостоев. Общий резерв реконструкции может составлять 10–15 тыс.га. Учитывая, что это мероприятие дорогостоящее, реальный объем реконструкции, видимо, не превысит 3–5 тыс. га;
- возможна посадка культур сосны на землях, в настоящее время не покрытых лесом, и не лесных. Резервы здесь не особо большие, но могут составить до 3 тыс.га в год.
- регулирование расчетной лесосеки по сосновому хозяйству для ее некоторого уменьшения в 2040–2060 гг. При этом расчетная лесосека при возрасте рубки в 6 классе возраста будет примерно такой же, как и прежде, так как спелых древостоев при оптимальном распределении насаждений по теории нормального леса при возрасте рубки в 5 классе возрасте должно быть 18 %, а в 6 классе возраста 16 %. Некоторое уменьшение площади спелых древостоев должно компенсироваться текущим приростом за 20 лет.
- Все перечисленные мероприятия требуют значительных затрат и длительного времени проведения. Учитывая это, оптимиза-

ция возрастной структуры древостоев возможна не ранее 2050—2060 гг. Для осуществления этого мероприятия необходимо разработать специальную программу поэтапного выполнения отмеченных мероприятий с разбивкой их по лесхозам. Это можно делать в процессе проведения лесоустройства при разработке лесоустроительных проектов.

- Леса Беларуси представляют собой важный естественный возобновляемый экономический ресурс. Беларусь вынуждена по возможности максимизировать вырубку лесов с целью реализации на внутреннем и внешнем рынках древесины и изделий из нее. Поскольку максимизация накопления углерода лесами Беларуси приводит к некоторому сокращению объемов лесопользования в силу уменьшения расчетной лесосеки, то проведение мероприятий по увеличению депонирования углерода должны быть согласованы с возможной международной компенсацией (за счет реализации углеродных квот) Беларуси за экономические потери из-за недобора древесины. Только в этом случае будет целесообразно максимально использовать возможность накопления углерода лесами Беларуси.
- 5. Оптимизация видовой структуры лесов Республики Беларусь, выполненная с учетом эколого-экономических факторов лесопользования, может оказаться эффективным действием для повышения абсорбции углекислого газа в лесном фонде. При выполнении оптимизации рекомендуется учесть следующие обстоятельства:
- при отборе деревьев в рубку при рубках ухода за лесом надо ориентироваться на биологические особенности древесных пород по их углерододепонирующей эффективности;
- при оценке углерододепонирующей эффективности насаждений надо учитывать их запас на 1 га и возраст рубки главного пользования:
- оптимизация породного состава лесов Беларуси приведет к существенному повышению их углерододепонирующей эффективности;
- максимизировать углерододепонирующий эффект оптимизации породного состава лесов Республики Беларусь возможно, пересмотрев возраст рубок главного пользования по хвойному и твердолиственному хозяйству до 100 лет в лесах II группы, по мягколиственному до 50 лет, по I группе лесов соответственно класс возраста выше;

- в связи с глобальным изменением климата, особенно для юга Республики Беларусь, а также аномальными погодными условиями 2016 года, следует организовать широкомасштабные эколого-биологические исследования для разработки мероприятий по повышению устойчивости лесов на данных территориях;
- для повышения эффективности по регулированию породной структуры лесов требуется разработка на основе ГИС «Лесные ресурсы» программного продукта прогноза углерододепонирующей эффективности проектируемых лесных насаждений;
- необходимо пересмотреть объемы оптимизации породной структуры лесов с заменой сосны на березу, поскольку они явно завышены; увеличить к 2030 году на 1,0 процентных пунктов долю сосновых насаждений (2017 г. 50,6 %) за счет уменьшения доли березовых насаждений (2017 г. 22,7 %).
- 6. Сравнительный анализ уровня абсорбции парниковых газов лесами и болотами свидетельствует о следующем. Накопление углерода лесными экосистемами варьируется в зависимости от их географического расположения, условий местопроизрастания и характеристик отдельных компонентов насаждений.
- Исследования показывают, что высокая интенсивность поглощения углерода характерна для средневозрастных хвойных  $(3,3-6,4\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}\ \text{год})$ . Несколько ниже она в молодняках, спелых хвойных, лиственных лесах, а на восстанавливающихся вырубках изменяется от  $0,1\ \text{до}\ 0,7\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}\ \text{год}$ . Данные, полученные для отдельных регионов, показывают, что среднее накопление углерода в лесах северо-восточного Китая составляло от  $1,9\ \text{до}\ 3,4\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}$  год, в природоохранных лесах Мексики  $-1,0\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}$  год, а в нетронутых тропических лесах Азии (Бруней) было даже отрицательным ( $-0,6\pm6,1\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}$  год). Применение минеральных удобрений (азотных и фосфорных) в сосновых лесах, произрастающих на бедных почвах, увеличивает депонирование углерода до  $5,1\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}$  год, что на 50% выше, чем при внесении азотных ( $3,4\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}$  год). Для европейской части России (зона умеренных лесов) среднее накопление углерода менялось от  $1,3\ \text{дo}\ 2,6\ \text{т}\ \text{С/га}\ \text{в}$  год.
- Накопление углерода болотными экосистемами значительно ниже, чем лесными. В настоящее время оно изменяется в пределах 0,1–0,6 т С/га в год. В некоторые климатические периоды наблюдались резкие увеличения скорости аккумуляции углерода

- (0,7–1,4 т С/га в год). В текущем (субатлантическом) климатическом периоде прирост торфа варьируется от 0,1 до 0,9 мм/год с отдельными «пиками» от 1,8 до 2,6 мм/год. Таким образом, годичное накопление углерода лесными экосистемами, как правило, превышает его депонирование болотами примерно в 10 раз. Если сравнивать спелые, перестойные насаждения и восстанавливающиеся вырубки с болотами, то разница в угледепонировании минимальна, а в некоторых случаях леса могут быть источниками углерода.
- 7. Мероприятия по увеличению абсорбции парниковых газов лесами и болотами, из опыта наилучших мировых практик, заключаются в следующем.
- Повышение эффективности системы управления, в т.ч. расширение возможностей принятия решений на уровне лесохозяйственных предприятий и их структурных подразделений, постепенное увеличение доли лесозаготовок сторонними организациями с перспективой проведения ими в будущем основных видов рубок леса.
- Пересмотр и уточнение лесной политики и нормативных документов в стране каждые 3–5 лет на основе актуализированных данных по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода и снижение его выбросов для адаптации действующих подходов к устойчивому ведению лесного хозяйства (устойчивому лесоуправлению).
- При получении лесного образования целесообразно внести в учебные планы и программы изучаемых дисциплин соответствующих специальностей дополнения и изменения, раскрывающие вопросы смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним лесного хозяйства, в т.ч. разработка новых учебных дисциплин.
- Анализ целесообразности внедрения новых технологий в сравнении с их эффективностью для изменения климата (например, при использовании генетической модификации древесных видов, которые лучше адаптированы к будущим условиям, и др.).
- Сохранение существующих лесов, в т.ч. минимизация изъятия покрытых лесом земель, создание новых (увеличение лесистости) на землях, где ведение лесного хозяйства более эффективно.
- Увеличение оборота рубки, оптимизация возрастной структуры, исключение из лесопользования насаждений 4 и более низких классов бонитета с целью сохранения лесами угледепонирующей функции.

- Корректирование площадей особо охраняемых природных территорий до их оптимальной доли в лесном фонде страны с учетом сохранения биологического разнообразия и угледепонирующей функции, а также социально-экономической составляющей лесохозяйственной отрасли.
- Адаптация подходов по сохранению биоразнообразия с учетом прогнозов будущего изменения климата (новые виды, альтернативные генотипы растений).
- Оптимизация формационной структуры и породного состава древостоев с учетом прогнозов возможного изменения климата. Подбор древесных пород, более адаптированных к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Пересмотр регионов рекомендуемого происхождения семян, используемых для лесовосстановления, чтобы семена «соответствовали» будущему климату. Увеличение количества древесных видов в составе и общей доли примеси (до 50%) для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников.
- Увеличение доли несплошных рубок главного пользования в первую очередь за счет равномерно-постепенных, групповопостепенных, длительно-постепенных и добровольно-выборочных, предусмотрев для этого меры дополнительного стимулирования и расширения перечня возможных объектов их проведения: снижение действующих норм выработки на проведение лесосечных работ для лучшего сохранения лесной среды и финансовая ответственность лесозаготовителей за нарушение лесоводственных требований; содействие предварительному лесовозобновлению, в т.ч. с использованием специализированных машин и механизмов; уточнение и доработка организационно-технических элементов рубок и др.
- Увеличение доли сплошнолесосечных рубок главного пользования с сохранением подроста (уменьшение норм количества подроста, подлежащего сохранению; стимулирование их проведения лесопользователями и усиление ответственности за некачественное выполнение рубок) или постепенный отказ от применения сплошных рубок без его сохранения.
- Увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, отбор деревьев при рубках ухода в соответствии с классическими лесоводственными принципами. Поддержание высокой полноты древостоев и проведение рубок в зимнее время или

летом в периоды без осадков для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников.

- Дальнейшее применение и расширение экологически щадящих технологий рубок леса, конкретизация норм оставления деревьев для сохранения биологического разнообразия, формирования сложных по составу и структуре лесов нового поколения при проведении сплошных рубок главного пользования.
- Увеличение прироста лесных насаждений возможно за счет использования минеральных удобрений, но риски распространения определенных патогенных микроорганизмов, ускорения развития корневой губки, снижения биологического разнообразия, ускорения эмиссии оксида азота лесными почвами и опосредованных отрицательных эффектов не дают возможность рекомендовать данное мероприятие в широкой лесохозяйственной практике для повышения углерододепонирования. Альтернативным вариантом является биологическая мелиорация.
- Использование древесины для производства топлива (сучья, ветви и пни, дровяная древесина и др.) позволяет сократить выбросы парниковых газов за счет замещения ископаемого топлива, при этом наибольший эффект достигается при замене угля. Сбор порубочных остатков следует осуществлять после опадения с них хвои или листьев с оставлением в лесу не менее 50—30% их массы в зависимости от почвенного плодородия. В связи с противоречивыми данными о влиянии заготовки пней на поглощение углерода, использование их в качестве топлива не целесообразно.
- Консервация углерода в более долговечных изделиях и конструкциях вместо энергоемких материалов (бетон, сталь и т.д.), при производстве которых выделяется больше парниковых газов, и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо. Стимулирование максимального производства и использования товаров из древесины с высокой добавленной стоимостью и постоянное расширение их ассортимента на основе научных исследований и инноваций (новые строительные материалы, биопродукты, такие как антибиотики, биоактивные бумаги, биопластики, клеи, биопестициды, растительные лекарственные средства, биохимические вещества, промышленные ферменты и др.), т.е. развитие биоэкономики.
- Планирование, строительство или модернизация производств по переработке древесины (в т.ч. второстепенных видов древесных пород) на основе будущей формационной структуры лесов.

- Развитие плантационного лесоводства должно быть направлено не только на максимизацию производства древесины, но и накопление углерода. Перспективным для смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетическими культурами может быть их создание на нелесных землях государственного лесного фонда и других категориях земель.
- Запрет на законодательном уровне осущения всех типов болот; предотвращение деградации, восстановление деградированных и повторное заболачивание осущенных торфяников; ограничение и возможный запрет в будущем рубок в болотных лесах.
- 8. Обзор законодательства Республики Беларусь в части абсорбции парниковых газов лесами и болотами, выполнения взятых обязательств по международным соглашениям и договорам позволяет сделать следующие выводы и рекомендации.
- В Республике Беларусь практически все законодательные меры разрабатываются и осуществляются в рамках и на базе существующих международных соглашений.
- Научные и технические исследования и разработки в Республике Беларусь большей частью ведутся в контексте международных проектов и соглашений.
- В Беларуси имеется значительный потенциал для осуществления международной политики по уменьшению выбросов СО<sub>2</sub>.
- Мероприятия по снижению выбросов CO<sub>2</sub> можно осуществлять несколькими путями:
- переход на энергосберегающие технологии и альтернативные виды топлива;
- увеличение количества лесонасаждений и устойчивое лесопользование;
- сохранение и рациональное использование имеющихся водно-болотных угодий.
- Законодательство Республики Беларусь обеспечивает всю необходимую базу для осуществления лесохозяйственной деятельности по выполнению лесами углерододепонирующей функции и поддержания положительного баланса в системе «сток—эмиссия» углекислого газа, создает возможности для увеличения лесным фондом абсорбции атмосферного диоксида углерода, его секвестрации лесной экосистемой в виде углерода надземной и подземной фитомассы и органического углерода почвы лесных земель.

• Одобрение Правительством Республики Беларусь подготовленного настоящим заданием "Национального плана действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года" обеспечит нормативно-правовое сопровождение мероприятий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом, их планирование, финансирование и контроль за объемом и качеством выполнения государственными органами лесоуправления и другими лесофондодержателями.

Решение последствий изменения климата, сохранения лесов и их участия в предотвращении негативных погодно-климатических воздействий является глобальной проблемой и нуждается в тесном международном сотрудничестве, а именно применительно к Республике Беларусь:

- Привлечение международных средств к решению упомянутых проблем в рамках международных конвенций и соглашений, подписанных Республикой Беларусь.
- Вовлечение в сотрудничество заинтересованных организаций, ведомств работающих над сходными задачами на международной или межрегиональной арене.
- Проведение международных/межрегиональных конференций, семинаров в целях выявления общих межрегиональных/трансграничных задач и дальнейшего поиска их решений.
- Заключение партнерских межрегиональных соглашений/договоров в целях сотрудничества над общими/схожими проблемами и обмена опытом.
- Подготовка межрегиональных/международных проектов для осуществления целей, задач и рекомендаций, подготовленных в ходе проведенных конференций и семинаров.
- 9. Динамичное развитие лесной экосистемы Беларуси отличается устойчивой тенденцией повышения продуктивности лесов и увеличения древесных запасов. За период с 1945 по 2017 годы увеличились общая площадь лесного фонда в 1,55 раза (+3406,8 тыс. га.), продуктивность (средний запас насаждений) в 3,1 раза (+125 куб. метров на 1 га), общий запас в 5,5 раз (+1451,3 млн. куб. метров). Это результат эффективной лесохозяйственной деятельности в областях лесовосстановления и лесоразведения, мероприятий по повышению продуктивности и ухода за лесом, рационального лесопользования и др.Увеличение запасов насаждений,

соответственно фитомассы лесной экосистемы республики, ведет к возрастанию нетто-потока углерода от атмосферы в лес и его поглощению лесом. За период с 1956 года (первый послевоенный государственный учет лесов) содержание углерода в лесном фонде увеличилось. По состоянию на 01.01.2017 года пул углерода в лесном фонде Республики Беларусь составил 3492,7 миллионов тонн. При увеличении площади лесного фонда (1956-2017 гг.) в 1,3 раза пул углерода возрос в 2,52 раза. Прирост углерода почти в два раза превышает долю прироста площади лесного фонда. Это явилось следствием ряда факторов. Во-первых, отметим ключевой фактор постоянного действия - проведение мероприятий по повышению продуктивности лесов, как главную стратегическую цель и задачу лесного хозяйства. Тем самым также повышается углеродопродуцирующая функция лесов. Традиционные и новые лесохозяйственные мероприятия проводятся при условии, что они способствуют повышению продуктивности лесов. Перечень этих мероприятий значительный в силу их широкого разнообразия и постоянного присутствия в лесохозяйственной деятельности. Отметим достигнутую в практике лесного хозяйства эффективность отдельных мероприятий. По материалам мониторинга длительного (до 60 лет) воздействия лесохозяйственных мероприятий на прирост древесных запасов и годичное депонирование углерода насаждениями Ивьевского опытно-производственного и Негорельского учебно-опытного лесничеств установлено значительное повышение углеродопродуктивности лесов. Среди методов лесовосстановления после рубок главного пользования увеличение депонирования углерода составило при: создании лесных культур + 1,40 тС/га/год, естественном возобновлении с применением мер содействия + 0,99 тС/га/год. Прибавки за счет мер ухода за лесами составили при: реконструкции с последующим созданием лесных культур + 1,39 тС/га/год, рубках ухода + 1,18 тС/га/год. Во-вторых, фактором текущего периода, также оказавшим большое влияние на накопление углерода в лесном фонде, является сложившаяся возрастная структура лесов и объемы заготовки древесины. Текущая возрастная структура лесов не является оптимальной, однако весьма благоприятная для прироста древесных запасов и, соответственно, прироста депонированного при этом углерода. Индекс возрастной структуры лесов республики сегодня равен 0,30; при оптимальной возрастной структуре индекс равен нулю.

Сегодня средневозрастные насаждения занимают 44,3 % площади покрытых лесом земель и превышают на 14,3 процентных пунктов оптимальную их долю. Средневозрастные древостои отличаются максимальным количественным текущим приростом запаса, что благоприятствует текущему приросту углеродного пула в лесах республики. В-третьих. Для лесного хозяйства Беларуси последних трех-четырех десятилетий было характерным увеличение площади лесов первой группы с ограниченным размером заготовки древесины. Одновременно сокращалась доля эксплуатационных лесов второй группы (1983 год -64%, 2015 год -45,1%). На фоне прироста за 1944-2015 гг. земель лесного фонда площадь эксплуатационных лесов уменьшилась на 441,0 тыс. га. Сокращение площади эксплуатационных лесов второй группы и накладываемые Правилами рубок леса ограничения в части нормативов рубок способствовали более низкой интенсивности лесопользования в Беларуси по сравнению с другими странами. Объемы заготовки древесины в расчете на единицу общего запаса составляли в 2013 и 2016 гг. 9,7 и 13,0 куб. метров на 1000 куб. метров ее запаса, что в 1,4 раза меньше, чем в Польше, в 2 раза – Австрии и 3,8 раз – Финляндии. Указанные факторы способствовали возрастанию величины ежегодного общего изменения запаса: 1983 год - $20,0,\ 2017\ \text{год} - 37,6\ \text{млн.}$  куб. метров. На перспективу существенных изменений площади лесного фонда не ожидается. Возрастная структура лесов сохранится неоптимальной. Уменьшение доли средневозрастных насаждений приведет к значительному уменьшению прироста древесных запасов. Возрастающая доля спелых лесов вызовет необходимость увеличения расчетной лесосеки, несмотря на сохраняемые новым Лесным Кодексом (2015) ограничения нормативов рубок леса. Экспертные оценки на перспективу 2050 года предполагают использование 57% запасов спелых насаждений от их наличия. В составе сохраняемых исключаются из главного пользования по природоохранным соображениям 22% запасов. Значительные объемы древесных запасов являются труднодоступными. Спелые древостои в зонах радиоактивного загрязнения с плотностью 137Cs свыше 15 Ku/км<sup>2</sup> относятся к резервным для заготовки древесины и подлежат частичному ограничению рубки. В этих условиях общее среднее изменение запаса сократится до 15–17 млн. куб. метров. Это в 2,5 раза меньше, чем на 01.01.2017 года. В отличие от такого прогноза на предстоящие десятилетия, за истекшие шесть с половиной десятилетий в лесном фонде Республики Беларусь общие запасы насаждений и соответствующее поглощение лесами углерода увеличивались более интенсивно. Годичная абсорбция углекислого газа возросла в 2,53 раза и составила в 2017 году 46986 тысяч тонн, что равнозначно компенсации порядка 42% индустриальной эмиссии парниковых газов в стране. Соответствующее такой динамике уменьшение абсорбции углекислого газа поглотителями лесного фонда потребует специфичных компенсационных мероприятий для сохранения достигнутых показателей 2017 года.

10. Лесами Беларуси за 1956-2017 годы «изъято» из атмосферы, депонировано в фитомассе и почве земель лесного фонда 2111 млн. тонн углерода. Это соответствует «стоку» (абсорбции) примерно 7740 млн. тонн СО<sub>2</sub>. С учетом того, что за этот период прирост массы CO<sub>2</sub> («эмиссия») в атмосфере Земли составил примерно 420 млрд. тонн, устойчивая углерододепонирующая тенденция лесов Беларуси заслуживает высокой оценки. Углеродный баланс лесного фонда не является стабильным во временном аспекте, что связано с динамикой древесных запасов и размерами лесопользования. Сокращение прироста площадей лесных земель, сдвиг возрастной структуры лесов в сторону увеличения площадей приспевающих и спелых лесов, увеличение объемов заготовки древесины за счет рубок главного пользования, обновления, переформирования, реконструктивных и прочих рубок леса могут реально изменять углеродный бюджет лесного фонда, направлять нетто-поток углерода в сторону атмосферы. Мониторинг за формированием углеродных потоков в лесном фонде, механизм их расчетов становятся актуальной задачей. Преобладание «эмиссии» в углеродном балансе лесной экосистемы Беларуси в условиях возрастающего в мире напряжения по выбросам в атмосферу парниковых газов может оказаться неприятной проблемой лесохозяйственной отрасли страны. Устойчивое динамичное развитие лесного хозяйства Республики Беларусь создает объективные предпосылки сохранить сложившуюся ранее динамику лесного фонда как на ближайшую (2030 год), так и на более отдаленную (2050 год) перспективу. Прогнозируется при сохранении общей площади земель лесного фонда (9565,8 тыс. га) увеличение к 2030 году покрытых лесом земель (+80,6 тыс. га) и общих запасов лесных насаждений (+47,4 млн. куб. метров). При стабильных объемах заготовки древесины можно ожидать стабильного бюджета углерода в лесном фонде Беларуси. Прогнозируется, по сравнению с 2017 годом, увеличение к 2030 году ежегодно в среднем на 1694 тыс. куб. метров объемов вывозки заготовленной древесины. Как следствие, ожидается снижение ежегодно в среднем на 1708 тыс. тонн годичной абсорбции углекислого газа лесным фондом. Прогнозируемый по лесному фонду Республики Беларусь вывоз углерода в заготовленной древесине составит 6523 тыс. тС за 2018-2030 гг., что равнозначно "эмиссии" углекислого газа от заготовки и вывоза древесины в объеме 23912 тыс. тCO<sub>2</sub>, в том числе 7874 тыс. тCO<sub>2</sub> за 2018– 2025 гг. и 16038 тыс. тСО2 за 2026–2030 гг. Такая тенденция снижения стока углекислого газа противоречит национальной политике в области предотвращения изменения климата. Лесное хозяйство должно обеспечить компенсацию выбросов углекислого газа от увеличения заготовки древесины проведением мероприятий по повышению углеродопродуктивности лесов республики. Тем самым сохранится достигнутый уровень абсорбции углекислого газа. Также реально при ответственном лесопользовании и эффективных мерах воздействия на углеродные потоки в лесу увеличить годичную абсорбцию углекислого газа в лесном фонде Республики Беларусь.

11. Подготовлен проект документа "Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года". Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года является механизмом реализации Стратегического плана Организации Объединенных Наций в отношении лесов, 2017–2030 годы (UNSPF) в части глобальной цели в отношении лесов 1.2 "Сохранить и увеличить мировые запасы углерода в лесах", вкладом лесного хозяйства Республики Беларусь в достижение Целей устойчивого развития (CDG) как члена – организации SFM- устойчивого управления лесами. Национальный план является вкладом лесного хозяйства в реализацию Указа Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 года № 345 принять обязательства по Парижскому соглашению в части сокращения выбросов парниковых газов. Национальный план конкретизирует лесохозяйственные мероприятия по выполнению Государственной программы мер по смягчению последствий изменения климата на 2013-2020 годы, утвержденную постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 июня 2013 года № 510. Национальный план включает в себя анализ и планируемые лесным хозяйством действия и мероприятия, что отражено в следующих структурных разделах плана: общие положения; леса Беларуси как источник абсорбции углекислого газа; прогноз абсорбции углекислого газа лесным фондом Республики Беларусь на период до 2030 года; стратегия увеличения абсорбции углекислого газа лесным фондом Республики Беларусь; мероприятия Национального плана по увеличению абсорбции углекислого газа. Обязательными предложениями Национального плана являются: институциональная среда; объемы работ по выполнению мероприятий увеличения абсорбции углекислого газа; ожидаемые результаты мероприятий по увеличению годичной абсорбции углекислого газа от реализации разработанного по данному заданию Национального плана.

12. Стратегическими направлениями дальнейшего увеличения роли лесного хозяйства в области изменений климата в XXI веке посредством поглощения углекислого газа лесным фондом должны стать следующие меры и действия. К мероприятиям, улучшающим институциональную среду лесохозяйственной деятельности по увеличению абсорбции углекислого газа относятся: разработка отраслевой программы по увеличению средней полноты лесных насаждений; отражение в Государственном лесном кадастре сведений: углерод лесного фонда общий; углерод фитомассы лесного фонда; общее изменение депонированного лесным фондом углерода; отражение в «Правилах определения и утверждения расчетной лесосеки по рубкам главного пользования в лесах Республики Беларусь» показателя: масса углерода, депонированного в древесине принятой расчетной лесосеки, не должна превышать годичную его абсорбцию от планируемых целевых мероприятий по повышению углеродопродуктивности лесов и нелесных земель лесного фонда; разработка в лесоустроительных проектах раздела «Мероприятия по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом»; разработка ТКП «Правила расчетов поглощения и выбросов парниковых газов компонентами лесного фонда»; составление Базы данных «Болотные леса переходного и верхового типов, возможные для эксплуатации, нерентабельные для лесозаготовок, используемые в режиме секвестрации углерода»; отражение в Правилах рубок леса в Республике Беларусь положения: не допускаются рубки главного пользования в болотных лесах переходного и верхового типов, используемых в режиме секвестрации углерода и сохранения биоразнообразия. К лесохозяйственным мероприятиям по увеличению абсорбции углекислого газа относятся: исключение из лесозаготовок лесных земель серий типов леса: багульниковая, сфагновая, осоково-сфагновая и ивняковая, обеспечивает компенсацию 10% уменьшения абсорбции СО2 в лесном фонде от увеличения объемов вывоза заготовленной древесины; создание лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой, обеспечивает компенсацию 2,8%; несплошные рубки главного пользования лесом обеспечивают компенсацию 3,2%; реконструкция малоценных лесных насаждений обеспечивает компенсацию 2,5%; использование в топливных целях древесины, заготовленной при уборке захламленности, обеспечивает компенсацию 20%; использование в топливных целях порубочных остатков, образуемых при заготовке древесины на рубках главного пользования и прочих, обеспечивает компенсацию 23%; содействие естественному возобновлению в приспевающих и спелых древостоях обеспечивает компенсацию 2,5%; увеличение средней полноты насаждений по отношению к 2017 году на +0,016 (2025 год) и +0,044 (2030 год), обеспечивает компенсацию 30%; исключение из лесопользования на длительный срок отдельных лесных массивов обеспечивает компенсацию 9,2% уменьшения абсорбции СО2 в лесном фонде от увеличения объемов вывоза заготовленной древесины.

13. Планируемые показатели абсорбции углекислого газа лесным фондом Республики Беларусь составляют 47012,9 тыс. тСО<sub>2</sub>/год на 2025 год и 47249,0 тыс. тСО<sub>2</sub>/год на 2030 год, что больше по сравнению с 2017 годом соответственно на 0,06% и 0,56%. Достижение планируемых показателей является реальной задачей лесохозяйственной отрасли Республики Беларусь. Это позволит считать выполненной цель Национального плана, а именно сохранение достигнутого уровня годичной абсорбции углекислого газа лесным фондом в условиях увеличения к 2030 году на 41,4% ежегодного объема заготовки / вывозки древесины от рубок главного пользования, рубок обновления, переформирования, реконструктивных и прочих рубок леса.

14. Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года был направлен для согласования с заинтересованными органами государственного управления, представителями лесозаготовительного и деревообрабатывающего сектора, научными кругами, природоохранными и другими общественными организациями, определенными Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь.

08 февраля 2018 года на базе Белорусского государственного технологического университета состоялась Презентация «Стратегия и планы действий по адаптации лесного хозяйства Республики Беларусь к изменению климата, увеличению абсорбции парниковых газов, внедрению принципов «зеленой экономики» и тематические Круглые столы в рамках проекта «Развитие лесного сектора Республики Беларусь». В том числе состоялся Круглый стол «Национальный план действий по увеличению абсорбции углекислого газа лесным фондом Беларуси». С докладом по этой теме выступил руководитель данного задания 2 «Мероприятия по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года» Контракта № BFDP/GEF/CQS/16/25-26/17 от 23 октября 2017 года Рожков Л.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

На пленарном заседании Презентации состоялся доклад ректора БГТУ Войтова И.В. – Консультанта по Мероприятию 3.1.4 «Консультационные услуги по развитию стратегий и планов действий по адаптации лесного хозяйства Беларуси к изменению климата, увеличению абсорбции парниковых газов, внедрению принципов «зеленой экономики». В обсуждении доклада выступили Первый заместитель Министра лесного хозяйства Республики Беларусь Кулик А.А., Глава представительства Всемирного банка в Республике Беларусь господин Алекс Кремер, Консультант Министерства образования Республики Беларусь Максютенко Л.И., Заместитель директора Департамента по сотрудничеству в сфере безопасности и противодействия новым вызовам и угрозам Исполкома СНГ Халимов М.И., заместитель руководителя Представительства Россотрудничества, первый секретарь Посольства Российской Федерации в Республике Беларусь Макуров Л.Г., национальный координатор Программы малых грантов Глобального экологического фонда в Беларуси Соловьев Ю.В.

Обсуждение доклада Рожкова Л.Н. по данному заданию на заседании Круглого стола состоялось при участии представителей ведомств и организаций: Управления лесного хозяйства Министерства лесного хозяйства; Главного управления устойчивого развития Министерства экономики Республики Беларусь; Управления регулирования воздействий на атмосферный воздух, изменение климата и экспертизы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды; Института экспериментальной ботаники Национальной академии наук Беларуси; Республиканского унитарного предприятия «Беллесэкспорт»; Республиканского лесного селекционно-семеноводческого центра; Республиканского унитарного предприятия «Белгослес»; Республиканского центра повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства; Негорельского учебно-опытного лесхоза; фонда «Экомир»; Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам; Белорусской лесной газеты; корреспондентов радио канала 1 и компании «Столичное телевидение»; общественной организации «Багна»; журнала «Родная прырода»; научных сотрудников, преподавателей и студентов Белорусского государственного технологического университета. Всего 62 человека. Задали вопросы 12 человек, выступили в обсуждении 3 участника Круглого стола.

Участники Круглого стола поддержали представленный Национальный план действий по увеличению абсорбции парниковых газов поглотителями (леса, болота) на период до 2030 года. Рекомендовано представить в Министерство лесного хозяйства, другие государственные органы управления лесами и заинтересованные Министерства и ведомства уточненный Национальный план для последующего согласования и практической реализации в лесохозяйственной деятельности. Высказанные участниками Круглого стола замечания и предложения учтены в проекте Национального плана действий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода / Ваганов Е.А. [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2005. 1000 100 —
- 2. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы [Электронный ресурс] / А.Н. Филипчук, Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, В.В. Страхов // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. − 2016. − №3. − С. 36–85. − URL: http://lhi.vniiilm.ru.
- 3. Коровин, Г.Н. Проблемы реализации Киотского протокола в российском лесном секторе: докл. / Г. Н. Коровин // Роль механизмов Киотского протокола в развитии лесо- и землепользования в России. М., 2005. 17 с.
- 4. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. М.: МГЭИК; ВМО, 2003. 330 с.
- 5. Рожков Л.Н. Углеродный баланс лесов: как рассчитать // Лесное и охотничье хозяйство. -2005. -№ 3. C. 26-29.
- 6. Методика оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь. Утверждена и введена в действие приказом Минлесхоза Республики Беларусь от 28.03.2011 г. № 81 / Л.Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ, ЛРУП «Белгослес», 2011. 19 с.
- 7. Уткин, А.И. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) / А.И. Уткин, Д.Г. Замолодчиков, А.А. Пряжников // Лесоведение. 2003. № 1. С. 48—57.
- 8. ECE/TIM/SP/ 17–2000. Forest Resources, Main Report, UN-ECE / FAO.New York and Geneva, 2000. 445 p.
- 9. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000) / S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi, M. Gluck, M. Jonas and M. Obersteiner). IIASA Interim Report, August 2000.

- 10. Швиденко, А.3. Углеродный бюджет лесов России / А.3. Швиденко, Д.Г. Шепащенко // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. C. 69—92.
- 11. Методика региональной оценки бюджета углерода лесов [Электронный ресурс] / Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской Академии Наук. URL: http://old.cepl.rssi.ru/local.htm.
- 12. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / Исаев А.С. [и др.]. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
- 13. Операционная модель учета углерода Канадского лесного сектора CBM-CFS3 версия 1.0: Руководство пользователя [пер. с англ.] / S. J. Kull, W.A. Kurz, G. J. Rampley, G.E. Banfield, R. K. Schivatcheva, M. J. Apps. Northern Forestry Centre, 2010. 112 с.
- 14. The Effects of Forest Management on Carbon Storage in Ontario's Forests: Climate Change Research Report. CCRR-03 / S. J. Colombo, W. C. Parker, N. Luckai, Q. Dang, T. Cai. CFS, 2005. 123 p.
- 15. Model-based, Volume to Biomass Conversion for Forested and VegetatedLand in Canada / Boudewyn P., Song X., Magnussen S., Gillis M.D. Victoria, Canada: Canadian Forest Service. Inf. Rep. BC-X-411, 2007.
- 16. EFIMOD2 a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems / A.S. Komarov, O.G. Chertov, S.L. Zudin [et al.] // Ecological Modelling. V.170. 2003. № 2–3. P. 373–392.
- 17. Simulated soil organic matter dynamics in forests of the Leningrad administrative area / O.G. Chertov, A.S. Komarov, S.S. Bykhovets, K.I. Kobak // Forest Ecology and Management. 2002. V. 169. P. 29–44.
- 18. FORCARB2: An Updated version of U.S. Forest Carbon Budget Model. General Technical Report. NRS-67. / L. Heath, M. Nichols, J. Smith, J. Mills. U.S.Forest Service: Northern Research Station. 2010. 52 p.
- 19. Чумаченко, С.И. Моделирование развития насаждений в ходе аутогенных сукцессий / С.И. Чумаченко, О. В. Смирнова // Лесоведение. -2009. № 6. С. 3—17.
- 20. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В. А. Усольцев. Екатеринбург: УРО РАН, 2002. 761 с.

- 21. Усольцев, В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии / В.А. Усольцев. Екатеринбург: УРО РАН, 2010. 570 с.
- 22. ТКП 17.12-08-2015 (33140) «Определение направлений использования торфяных месторождений и болот». Минск: Минприроды, 2015.
- 23. Методика оценки годичных потоков «стока-эмиссии углекислого газа и общего депонирования углерода лесами Республики Беларусь. Утверждена и введена в действие приказом Минлесхоза Республики Беларусь от 28.03.2011 г. № 81 / Л.Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ, ЛРУП «Белгослес», 2011. 19 с.
- 24. Межправительственная группа экспертов по изменениям климата (МГЭИК). Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2003.
- 25. Жданович, С.А. Топливно-энергетическая характеристика крупного древесного детрита различной степени разложения в лесах Беларуси / С.А. Жданович, А.В. Пугачевский // Лесное и охотничье хозяйство, 2010. № 4. С. 21—25.
- 26. Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zeland. Main report/ UN-ECE/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000 // New York and Geneva: United Nations, 2000. P. 137–226.
- 27. Белов, С.В. Количественная оценка гигиенической роли леса и нормы лесов зеленых зон. Методическое пособие / С.В. Белов. Л., 1964.-65 с.
- 28. Смирнов, В.В. Фитомасса в еловых древостоях / В.В. Смирнов // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. М.: Наука. Ленингр. отд., 1971. С. 47—52.
- 29. Молчанов, А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон / А.А. Молчанов. М.: Наука, 1971. 275 с.
- 30. Смоляк, Л.П. Таблицы запасов надземной фитомассы сосняков БССР / Л.П. Смоляк, А.И. Русаленко, Е.Г. Петров // Лесное хозяйство. -1977. № 2. C. 68-71.
- 31. Юркевич, И.Д. Биологическая продуктивность типов и ассоциаций сосновых лесов (по исследованиям в БССР) / И.Д Юркевич, Э.П. Ярошевич. Минск: Наука и техника, 1974. 194 с.

- 32. Взнуздаев, Н.А. Запас органического вещества осинников в зависимости от формового разнообразия осины / Н.А. Взнуздаев, О.В. Шахова, В.И. Стукалова // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. М.: Наука. Ленингр. отд., 1971. С. 53–58.
- 33. Усольцев, В.А. Депонирование углерода в насаждениях некоторых экотонов и на лесопокрытых площадях Уральского федерального округа: Монография / В.А. Усольцев, С.Б. Залесов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 223 с.
- 34. Базилевич, Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н.И. Базилевич. М.: Наука, 1993. 293 с.
- 35. Замолодчиков, Д.Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин // Лесоведение, 2000. № 6. C. 54—63.
- 36. Уткин, А.И. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) / А.И. Уткин, Д.Г. Замолодчиков, А.А. Пряжников // Лесоведение, 2003. № 1. C. 48–57.
- 37. Углеродный фонд технологий и инвестиций. Carbon Fund of Technologies and Investment. http://www.cffi.ru.
- 38. Кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР». Управление государственного торфяного фонда при Госплане БССР. Минск, 1979.
- 39. Лесной кодекс Республики Беларусь: 24 декабря 2015 г., №332-3: принят Палатой представителей 03 декабря 2015 г.: одобр. Советом Респ. 09 декабря 2015 г.
- 40. ТКП 377-2012 Правила проведения лесоустройства лесного фонда: утвержден и введен в действие постановлением Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь №5 от 11.04.2012.
- 41. Технология формирования точных планово-картографических материалов лесоустройства, Минск, 2012.
- 42. Алексеев В.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России / В.А. Алексеев, Р.А. Бердси // Красноярск: ИЛ СО РАН 1994 170 с.
- 43. Антанайтис, В.В. Современное направление лесоустройства / В.В. Антанайтис. М.: Лесная промышленность, 1977. 280 с.
- 44. Антанайтис, В.В. Прирост леса / В.В. Антанайтис, В.В. Загреев. М.: Лесная промышленность, 1981. 200 с.

- 45. Анучин, Н. П. Лесная таксация / Н.П. Анучин М.: Лесная промышленность, 1977. Изд. 4. 512 с.
- 46. Атрощенко, О.А. Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов / О.А. Атрощенко. Мн.: БГТУ, 2004. 249 с.
- 47. Атрощенко, О.А. Продуктивность модальных насаждений по типам леса, не затронутых рубками (по Беловежской пуще) / О.А. Атрощенко, А.Г. Костенко. Мн.: БелЛУП, 1982. 36 с.
- 48. Багинский, В.Ф. Повышение продуктивности лесов / В.Ф. Багинский Мн.: Урожай, 1984. 135с.
- 49. Багинский В.Ф. Проблема повышения возрастов рубки в лесах Беларуси / В.Ф. Багинский// Лесное и охотничье хозяйство. 2000. №1. С. 10–18.
- 50. Багинский В.Ф. Спелость леса в системе устойчивого природопользования / В.Ф. Багинский, А.В. Неверов, О.В. Лапицкая // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия VII. Экономика и управление. Минск: БГТУ. 2002. Вып. Х. С. 207—216.
- 51. Багинский, В.Ф., Лесопользование в Беларуси / В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик Мн.: Беларуская навука, 1996. 367 с.
- 52. Багинский, В.Ф. Проблемы и перспективы устойчивого развития лесного хозяйства Беларуси / В.Ф. Багинский // Гомельщина: экологические проблемы региона и пути их решения. Гомель: Гом. обл. комитет ПР и ООС, 2004. С.8—14.
- 53. Багинский, В.Ф. Оптимизация видового состава лесов Беларуси / В.Ф. Багинский // Трансграничное сотрудничество в области охраны окружающей среды: состояние и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции 12—14 ноября 2006 года. Гомель: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды. 2006. С. 262—267.
- 54. Багинский В.Ф. Запасы углерода в древесине в основных типах леса модальных сосновых древостоев в восточной части Белорусского Полесья / В.Ф. Багинский // Проблемы лесоведения и лесоводства. Сборник научных трудов. Гомель: Институт леса НАН Беларуси. 2012. Вып. 71. С. 363—371.
- 55. Багинский, В.Ф. Некоторые проблемы адаптации лесного хозяйства Беларуси к изменению климата / В.Ф. Багинский, О.В. Лапицкая // Навуковий вісник НЛТУ України. Львів. НЛТУ. 2009. Віп. 19.14 С. 7—11

- 56. Багинский, В.Ф. Системный анализ в лесном хозяйстве: уч. пособие / В.Ф. Багинский. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009.-168 с.
- 57. Багинский В.Ф. Прогноз депонирования углерода в стволовой древесине нормальных сосновых древостоев в связи с изменением климата / В.Ф. Багинский. // Проблемы лесоведения и лесоводства. Сборник научных трудов. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 2013. Вып.73. С. 371-378.
- 58. Бейли Н. Статистические методы в биологии / Н.Бейли. М.: Мир. 1963. 480с.
- 59. Горошко, С.І. Миклуш, П.Г. Хомюк. Львів: Камула, 2004. 236 с.
- 60. Государственная программа развития лесного хозяйства Республика Беларусь на 2011-2015 годы / Утверждена Советом Министров Республики Беларусь 03.11.2010 г., № 1626. // Лесное и охотничье хозяйство. 2010. №11. С.19-30. Мн.: Минлесхоз Республики Беларусь, 2011. 89 с.
- 61. Государственный учет лесов по состоянию на 01 января 2006 года. Минск: Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. 2006. 106 с.
- 62. Грейг-Смит, П. Количественная экология растений / П. Грейг-Смит. М.: Мир, 1967. 349 с.
- 63. Дворецкий, М.Л. Изменчивость и взаимосвязь таксационных признаков / М.Л. Дворецкий // Сб. трудов Поволжского ЛТИ им. М. Горького. Йошкар-Ола: ПЛТИ. 1975. № 52. С. 41–54.
- 64. Дукарский, О.М. Статистический анализ и обработка наблюдений на ЭВМ «Минск-22» / О.М. Дукарский, А.Г. Закурдаев. – М.: Статистика, 1971. – 244 с.
- 65. Дыренков С.А. Лесоводство с позиций системного анализа / С.А. Дыренков // Лесоведение. 1975. № 6. С. 3—9.
- 66. Ермаков В.Е. Оборот рубки как показатель качества древесного сырья / В.Е. Ермаков // Труды белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство. Мн.: БГТУ. 2000. Вып. 8. С. 21–25.
- 67. Ермаков В.Е. Лесоустройство / В.Е. Ермаков Минск: Вышэйшая школа. 1993.—256с.
- 68. Ермаков В.Е. Особенности целенаправленного лесовыращивания в Республике Беларусь / В.Е. Ермаков // Труды белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство. Мн.: БГТУ. 2000. Вып. 16. С. 12—18.

- 69. Жданович С.А. Оценка темпов разложения древесины мертвых деревьев в естественных условиях / С.А. Жданович // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 2008. Вып. 67. С. 287–294.
- 70. Жданович, С.А. Запасы и структура крупных древесных остатков в малонарушенных насаждениях различных лесных формаций. / С.А. Жданович, А.В. Пугачевский // Ботаника (исследования): сб. науч. трудов. Минск: ИЭБ НАН Беларуси. 2009. Вып. 37. С. 190-198.
- 71. Зайцев, Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г.Н. Зайцев. М.: Наука, 1984. 424 с.
- 72. Захаров, В.К. Варьирование таксационных признаков древостоев / В.К. Захаров // Лесное хозяйство. -1950. -№11. C. 48-50.
- 73. Исаев, А.С. Проблемы оценки углеродного бюджета в лесах с использованием данных дистанционного зонирования / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин // Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве: материалы II Всероссийского совещания.: РАН. 1998. С. 16-21.
- 74. Кивисте, А.К. Функции роста леса / А.К. Кивисте. Тарту: Эст. СХА, 1988. 171 с.
- 75. Кокорин, А.О. Обзор итогов работ / А.О. Кокорин, А.А. Минин // Влияние изменения климата на экосистемы. М.: Русский университет, 2001. Ч. І. С. 5-8.
- 76. Колтунова А.И. Моделирование роста и продуктивности древостоев (на примере лесообразующих пород Северной Евразии): автореф. дис. на соиск. уч. ст. д.с.-х.н. наук / А.И. Колтунова. Екатеринбург: УГЛУ, 2004. 40 с.
- 77. Комплексная продуктивность земель лесного фонда. / Коллектив авторов (Багинский В.Ф., Есимчик Л.Д., Гримашевич В.В., Ермонина И.В., Лапицкая О.В. и др.) под ред. Багинского В.Ф. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. 295 с.
- 78. Лапицкая О.В. Эколого-экономическая спелость леса // Лесное и охотничье хозяйство. 2001. №1. С. 8-9.
- 79. Лапицкая, О.В. Эколого-экономические основы определения спелостей леса / О.В Лапицкая // Автореф. дис. ... к.э.н. Минск: БГТУ. 2001. 21 с.
- 80. Лапицкая, О.В. Принципы определения спелостей леса в условиях рыночной экономики. / О.В. Лапицкая // Проблемы ле-

- соведения и лесоводства: сб. науч. трудов. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 2005. Вып. 64. С. 352-363.
- 81. Лесной Кодекс Республики Беларусь. Минск: Минлесхоз Республики Беларусь. –2000. -81с.
- 82. Ловчий Н.Ф. Экологический анализ структуры и продуктивности сосновых лесов Беларуси./ Н.Ф. Ловчий. Минск: Наука и техника. 1999. 261 с.
- 83. Лосицкий, К.Б. Эталонные леса / К.Б. Лосицкий, В.С. Чуенков. М.: Лесная промышленность, 1980. 191 с.
- 84. Мелехов, И.С. Лесоведение / И.С. Мелехов. М.: Лесная промышленность, 1980. 406 с.
- 85. Государственный учет лесов по состоянию на 01 января 2011 года. Минск: Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. 2011. 91 с.
- 86. Моисеев Н.А., Чуенков В.С. Определение возраста спелости для одно- и многоресурсного лесоуправления // Лесное хозяйство. 1997. №5. С. 50-52.
- 87. Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. М.: МГУЛ, 1999.-4.1.-158 с.
- 88. Моисеев, Н.А. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России. / Н.А. Моисеев, А.М. Алферов, В.В. Страхов // Лесное хозяйство. -2000. №4. C. 18-20.
- 89. Моисеенко, Ф.П. О закономерностях в росте, строении и товарности древостоев: доклад, обобщающий содержание опубликованных работ ... д-ра с.-х. наук. / Ф.П. Моисеенко Киев: УСХА, 1965. 78 с.
- 90. Национальный отчет о демонстрации хода выполнения Киотского протокола. Мн.: Минприроды Республики Беларусь, 2006. 156 с.
- 91. Неверов, А.В. Экономика природопользования: учебнометодическое пособие для ВУЗов. Минск: БГТУ, 2009. 554 с.
- 92. Никитин, А. Н. Предварительная оценка болотных сосняков в депонировании углерода/ А. Н. Никитин, В. В. Степанчик // Проблемы лесоведения и лесоводства. Сборник научных трудов. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 1999. Вып. 50. С. 22-23.
- 93. Никитин, К.Е. Использование ЭВМ для обоснования возрастов технической спелости древостоев / К.Е. Никитин // ЭВМ и математические методы в лесном хозяйстве: сб. трудов по матер. всесоюзн. совещания. Л.: ЛенНИИЛХ, 1969. С. 9–17.

- 94. Никитин, К.Е. Применение ЭВМ в лесной таксации / К.Е. Никитин. М.: Лесная промышленность, 1972. 200 с.
- 95. Никитин, К.Е. Методы и техника обработки лесохозяйственной информации / К.Е. Никитин, А.Е. Швиденко. М.: Лесная промышленность, 1978. 270 с.
- 96. Нормативные материалы для таксации леса Беларусской ССР / Под ред. Багинского В.Ф. М.: ЦБНТИ-лесхоз, 1984. 300 с.
- 97. Орлов, М.М. Лесоустройство. / М.М. Орлов. Л.: Лесное хозяйство и лесная промышленность. 1928. T.2 326 с.
- 98. Парфенов, В.И. Лесные ресурсы Беларуси и вопросы их рационального использования / В.И. Парфенов, Д.С. Голод // Природные ресурсы. 1998. №1. С.41—45.
- 99. Первое национальное сообщение в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по рамочной конвенции ООН об изменении климата, Минск, 2003. 260 с.
- 100. Писаренко, А.И. Экологические аспекты управления лесами России // Лесное хозяйство. 2000. №3. С. 8-10.
- 101. Программа адаптации лесного хозяйства к изменению климата на период до 2050 года. Минск: Минлесхоз Республики Беларусь, Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси. 2000. 150 с.
- 102. Правила по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь. Мн.: Минлесхоз Республики Беларусь, 2006. 66 с.
- 103. Правила рубок леса в лесах Республики Беларусь. ТКП 143-2008 (02080). Мн.: Минлесхоз Республики Беларусь, 2009. 89 с.
- 104. Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.
- 105. Пугачевский, А.В. Депонирование и эмиссия углерода на землях лесного фонда в Республике Беларусь / Пугачевский А.В., Багинский В.Ф., Жданович С.М., Ермохин М.В., Лапицкая О.В. // Лесная таксация и лесоустройство. Международный научно-практический журнал. –Красноярск: СибГТУ. 2010. №2. С. 85-99.
- 106. Рожков, Л.Н. Устойчивое лесное хозяйство леса будущего / Л.Н. Рожков, Н.Т. Юшкевич // Труды белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство. Мн.: БГТУ. 2000. Вып. 8. С. 3-9.
- 107. Рожков, Л.Н. Методические подходы расчета углеродных пулов в лесах Беларуси/ Л.Н. Рожков // Труды БГТУ. 2011. №1. С. 62–70.

- 108. Рожков, Л.Н. Углеродный бюджет болотных лесов Беларуси / Л.Н. Рожков, А.В. Шатравко // Труды БГТУ. Научный журнал. Серия «Лесное хозяйство». Минск: БГТУ. 2012. № 1. С. 111–114.
- 109. Свалов, Н.Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н.Н. Свалов. М.: Лесная промышленность, 1979. 216 с.
- 110. Сомерс, У.Т. Устойчивое развитие бореальных лесов: роль глобальных изменений, нарушений и оценки риска / У.Т. Сомерс // Устойчивое развитие бореальных лесов. М.: МАИБЛ, 1997. С. 128–132.
- 111. Тепляков, В.К. Экологическое управление лесами: от существующего к оптимальному / В.К. Тепляков // Устойчивое управление бореальными лесами. М.: МАИБЛ, 1997. С. 155–161.
- 112. Тюрин, А.В. Нормальная производительность сосны, березы, осины и ели / А.В. Тюрин. М.-Л.: Сельхозиз, 1930. 189 с.
- 113. Тюрин, А.В. Основы хозяйства в сосновых лесах / А.В. Тюрин. М.: Госиздат, 1938. 299 с.
- 114. Уткин, А.И. Международная научная конференция «Роль бореальных лесов и лесного хозяйства в глобальном бюджете углерода (8-12 мая 2001 г. Эдмонтон, Альберта, Канада)» / А.И. Уткин // Лесоведение. 2001. N 2. C. 76-78.
- 115. Багинский В.Ф. Таксация леса: учебное пособие. Гомель:  $\Gamma\Gamma Y$ . 2013. 416 с.
- 116. Усольцев, В.А. Депонирование и динамика углерода в фитомассе лесов Уральского региона / В.А. Усольцев, В.А. Азаренок, Е.В. Барановских, Н.В. Накай // Лесная таксация и лесоустройство. Международный научно-практический журнал. Красноярск: СибГТУ. − 2009. №1 (39). С. 183-190.
- 117. Усольцев, В.А. Депонирование углерода в фитомассе лесов. Расчетный алгоритм и его реализация в среде СУБД ADABAS (на примере Уральского региона) / В.А. Усольцев, М.П. Воронов, В.П. Часовских, Н.В. Накай // Лесная таксация и лесоустройство. Международный научно-практический журнал. Красноярск: СибГТУ. 2010. №1(43). С. 78-92.
- 118. Федоров, Н.И. Древесиноведение и лесоматериалы. Учеб. пособие / Н.И. Федоров, Э.Э. Пауль. Минск: БГТУ. 2006. 292 с.
- 119. Честных, О.В. Запасы углерода в подстилках лесов России / О.В. Честных, В.А. Лыжин, А.В. Кокшарова // Лесоведение. -2007. N = 6.-C. 114-121.

- 120. Швиденко, А.З. Обобщенная оценка прироста и отпада в лесах России / А.З. Швиденко, В. Веневский, С. Нильсон // Устойчивое развитие бореальных лесов М.: МАИБЛ, 1997. С. 191–197.
- 121. Юдицкий, Я.А. Моделирование закономерностей роста древостоев как основа обновления лесотаксационной информации: автореф. дис. ... к.с.-х. наук. / Я.А. Юдицкий. Киев: УСХА, 1982. 20 с.
- 122. Юркевич, И.Д. География, типология и районирование лесной растительности Беларуси / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. Мн.: Наука и техника, 1965. 288 с.
- 123. Юркевич, И.Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование / И.Д. Юркевич, Д.С. Голод, В.С. Адерихо. Минск: Наука и техника, 1979. 218 с.
- 124. Янушко, А.Д. Экономическая спелость и оборот рубки в эксплуатационных лесах // Лесное и охотничье хозяйство. 2000. №2. С. 8-11.
- 125. Козловский Б.А., Науменко И.М., Молчанов А.А. О режиме пользования и возрастах рубки в лесах I группы. М.: Гослесхоз, 1963. 52 с.
- 126. Моисеенко Ф.П., Бобков Н.К. Режим хозяйства в водоохранных сосновых лесах БССР // Бюл. НТИ инст. лесн. хоз-ва. Минск: БелНИИЛХ, 1960. С. 3-7.
- 127. Шимова О.С. Эколого-экономическое регулирование: вопросы методологии и практика переходного периода // Автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.19 / БГТУ. Минск, 1998. 38 с.
- 128. Кунцевалов М.А., Успенский В.В., Артюховский А.К. Коэффициенты экологической эффективности леса // Известия ВУЗов: Лесной журнал, 2000. №2. С. 36-40.
- 129. Янушко, А.Д. Лесное хозяйство Беларуси / А.Д. Янушко. Мн.: БГТУ, 2001. 218 с
- 130. Лесной Кадастр Республики Беларусь на 01.01.2017 года. Минск: Госкомлес. 2017. 105 с.
- 131. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы.: утв. Заместителем Премьерминистра Республики Беларусь М.М. Русым от 23.12.2014 г., N 06/201-271.-Минск, 2013.-20 с.
- 132. Государственная программа «Белорусский лес» на 2016-2020 годы.: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18.03.2016, №215. Минск, изд-во Совмина РБ, 2016. 58 с.

- 133. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2017.: Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. Лесоустроительное республиканское унитарное предприятие «Белгослес». Минск, 2017. 63 с.
- 134. Новиков, С.М. Новые данные о площади болот и запасах торфа на территории России / С.М. Новиков, Л. И. Усова // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2000. С. 49—52.
- 135. Первое национальное сообщение в соответствии с обязательствами Республики Беларусь по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Всемирный банк, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды республики Беларусь.: Минск, 2003. 279 с.
- 136. Материалы научного отчета о выполнении НИР по заданию III.3 «Разработать научное обоснование оптимизации лесистости. Как фактора стабилизации экологической обстановки, и практические рекомендации по улучшению породного состава лесов». Научно-техническая информация в лесном хозяйстве, вып. №9. Минск, Белгипролес, 2006, с. 1–31.
- 137. Кобак, К.И. Биотические компоненты глобального углеродного цикла / К.И. Кобак. СПб.: Гидрометеоиздат, 1988. 246 с.
- 138. Глебов, Ф.З. Динамика палеорастительности, палеоклимата, накопления торфа и углерода в междуречье Оби и Васюгана (Западно-Сибирская низменность) / Ф.З. Глебов и др. // Динамика болотных экосистем Северной Евразии в голоцене. Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2000. С. 16—19.
- 139. Научный отчет по заданию 1.17. «Разработать и внедрить породную и возрастную структуру лесов по лесохозяйственным учреждениям на основе ГИС «Лесные ресурсы», результатов почвенно-типологического обследования лесов, рационального лесопользования и лесовосстановления / О.А. Атрощенко, Л.Н. Рожков.: Минск, 2010. 302 с.
- 140. Фёдоров, Б.Г. Выбросы углекислого газа: углеродный баланс России / Б.Г. Фёдоров // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://journal.esco.co.ua/esco/2014\_9\_10/art44.pdf. Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 141. Янушко, А.Д. Экономика лесного хозяйства : учеб. Пособие для студ. Вузов / А.Д. Янушко. Минск, УП «ИВЦ Минфина», 2004. 368 с.

- 142. Лесаводства: Вучэбны дапаможнік / Г.У. Меркуль, В.П. Грыгор'еў, Л.І. Лахтанава, І.Э. Рыхтэр. МН.: БДТУ, 2001. 434 с.
- 143. Climate change and forest management in Canada: impacts, adaptive capacity and adaptation options: A state of knowledge report / M. Johnston [et al.] // Edmonton, Alberta: University of Alberta, Sustainable Forest Management Network, 2010. 58 p.
- 144. Gray, P. Adapting sustainable forest management to climate change: a systematic approach for exploring organizational readiness. Canadian Council of Forest Ministers, Climate Change Task Force. 2012. 47 p.
- 145. Forest carbon mitigation policy: a policy gap analysis for British Columbia / G. Hoberg [et al.] // Forest Policy and Economics. 2016. Volume 69. P. 73–82.
- 146. Keenan, R.J.Forests and climate change: introduction to a special section. Forest Ecology and Management. 2016. Volume 360. p. 353–356.
- 147. Доклад Всемирного фонда дикой природы (WWF) «Живые леса» // Устойчивое лесопользование. 2012. № 3 (32). С. 18–35.
- 148. Королева, Т.С. Обзор мирового опыта консервации углерода в существующих лесных резервуарах / Т.С. Королева, Е.А. Шунькина // Труды СПбНИИЛХ. -2014. -№ 4. -C. 22-39.
- 149. Ковлер, Л. Дыхание основной фактор углеродного баланса в европейских лесах / Л. Ковлер // [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/01-42/15.html Дата доступа: 6.12.2017 г.
- 150. Кудрявцев, В.А. Роль лесов в углеродном балансе планеты / А.В. Кудрявцев // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2008. № 17. С. 135–138.
- 151. Bellassen, V. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times / V. Bellassen, S. Luyssaert // Nature. 2014. Volume 506. Issue 7487. p 153–155.
- 152. Олссон, Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата / Р. Олссон // Устойчивое лесопользование. 2012. №4 (33). С. 45–49.
- 153. Irauschek, F. Evaluating multifunctionality and adaptive capacity of mountain forest management alternatives under climate change in the Eastern Alps / F. Irauschek, W. Rammer, M.J. Lexer // European Journal of Forest Research. [Электронный ресурс] Режим

- доступа: https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-017-1051-6 Дата доступа: 28.10.2017 г.
- 154. Thom, D. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests / D. Thom, R. Seidl // Biological Reviews. 2016. Volume 91. Issue 3. p 760–781.
- 155. Олссон, Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата / Р. Олссон // Устойчивое лесопользование. 2013. №2 (35). С. 36—45.
- 156. Keenan, R.J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review / R.J. Keenan // Annals of Forest Science. 2015. Volume 72. Issue 2. p 145–167.
- 157. Деда, П. Состояние Лесов в Европе 2011 / П. Деда. Архангельск, 2012. 21 с.
- 158. Парвиайнен, Я. Леса и лесное хозяйство в Финляндии / Я. Парвиайнен // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.vneshmarket.ru/content/document\_r\_9a1f8565-ac30-464e-af01-bb24508c4759.html Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 159. Пирамидина, А.А. Глобальная проблема сохранения лесов / А.А. Пирамидина // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://sntk.vlsu.ru/index.php/sektsii-dokladov/87-institut-prikladnoj-matematiki-i-informatiki-bio-i-nanotekhnologij-doc/fakultet-khimii-i-ekologii/ekologiya/1990-globalnaya-problema-sokhraneniya-lesov Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 160. Общеевропейский процесс по сохранению лесов Европы история развития // Лесохоз. информ. Пушкино: ВНИИЛМ. 2008. № 1–2. С. 61–65.
- 161. Шматков, Н. Оценка состояния лесов Европы / Н. Шматков, Т. Яницкая // ЛесПромИнформ. 2011. № 5 (79). С. 175–180.
- 162. Морозова, В.Н. Мировая экологическая политика и международное экологическое сотрудничество: учебно-методическое пособие / В.Н. Морозова. Воронежский государственный университет: г. Воронеж, 2007. 126 с.
- 163. Черненькова, Е. Леса высокой природоохранной ценности. Концепция / Е. Черненькова // Устойчивое лесопользование. 2004. № 3 (5). С. 38—44.
- 164. Максаковский, В.П. Географическая картина мира / В.П. Максаковский. 4-е изд., испр. и доп. М.: Кн.2 2009, 480 с.
- 165. Норвегия мировой лидер в сохранении лесов // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://dom-sweet-dom.ru/1341-borba-za-sohranenie-lesov.html Дата доступа: 13.12.2017 г.

- 166. Писаренко, А.И. Проблемы собственности и лесоуправления в зарубежных странах / А.И. Писаренко, В.В. Страхов, А.Н. Филипчук // Лесохоз. информ. Пушкино: ВНИИЛМ. 2004. № 9. С. 52–64; № 10. С. 49–61.
- 167. Филипчук, А.Н. Состояние и развитие лесного хозяйства Австрии / А.Н. Филипчук, В.В. Иевенко // Экспресс-информ. М.: ВНИИЦлесресурс. 1999. Вып. 3–4. С. 11–18.
- 168. Янгутов, И.А. Роль государства в организации охраны природы и рекреационного использования лесов за рубежом / И.А. Янгутов // Лесохоз. информ. Пушкино: ВНИИЛМ. 2008. № 1–2. С. 65–67.
- 169. Филипчук, А.Н. Состояние и развитие лесного хозяйства современной Германии / А.Н. Филипчук, В.В. Иевенко, С. Чейхан // Лесное хозяйство за рубежом. М.: ВНИИЦлесресурс. 1998. Вып. 3–4. С. 1–17.
- 170. Effects of forest conservation and management on volume growth, harvested amount of timber, carbon stock, and amount of deadwood in Finnish boreal forests under changing climate / L. Alrahahleh [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. 2017. Volume 47. Number 2. p. 215–225.
- 171. Кузнецов, ГГ. Системы управления лесным хозяйством в некоторых зарубежных странах Северного полушария / Г.Г. Кузнецов, Д.М. Соколов // Обзорн. информ. М.: ВНИИЦлесресурс. 2000. Вып. 1–2. С. 49.
- 172. Моисеева, Е.Е. Управление лесами в Финляндии / Е.Е. Моисеева, А.В. Бардаков // [Электронный ресурс] Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/v/upravlenie-lesami-v-finlyandii Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 173. Finnish Forest Research Institute. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.metla.fi/index-rus. html. Загл. сэкрана. Яз. рус., англ.
- 174. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis / A. Noormets [et al.] // Forest Ecology and Management. 2015. Volume 355. p. 124–140.
- 175. Kasischke, E. S. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forest. Ecological applications. 1995. Volume 5. Issue 2. p. 437–451.
- 176. Luyssaert, S m fl 2008: Old-growth forests as global carbon sinks. Nature. 2008. Vol. 455. p. 213–215.

- 177. Grelle, A Skogens kolbalans bestams av upptag och utslapp / A. Grelle // Sverige i nytt klimat vatvarm utmaning. Formas Fokuserar. 16. 2010. p. 241–252.
- 178. Metsänhoidon suositukset / O. Äijälä [et al.] Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkustannus Oy, 2014. 181 s.
- 179. Effects of Forest Age Structure, Management and Gradual Climate Change on Carbon Sequestration and Timber Production in Finnish Boreal Forests / J. Garcia-Gonzalo [et al.] // Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change. 2017. Volume 34. p. 277–298.
- 180. Harvest impacts on soilcarbon storage in temperate forests. / L.E. Nave [et al.] // Forest Ecology and Management. 2010. Volume 259. p. 857–866.
- 181. Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use / P. Pyörälä [et al.] // Forest Ecology and Management. 2012. Volume 275. p. 87–97.
- 182. Seidl, R. Adaptation options to reduce climate change vulnerability of sustainable forest management in the Austrian Alps / R. Seidl, W. Rammer, M.J. Lexer // Canadian Journal of Forest Research, 2011. Volume 41, Number 4. p. 694–706.
- 183. Triebenbacher, C. Das Borkenkaferjahr 2013 in Bayern: Buchdrucker und Kupferstecher haben die Latenz verlassen, Risiko für 2014 gestiegen / C. Triebenbacher // Forstschutz Aktuell. 2014. Number 59. p. 23–27.
- 184. Does mixing tree species enhance stand resistance against natural hazards? A case study for spruce. / V.C. Griess [et al.] // Forest Ecology and Management. 2012. Volume 267. p. 284–296.
- 185. Temperli, C., Bugmann H, Elkin C Adaptive management for competing forest goods and services under climate change / C. Temperli, H. Bugmann, C. Elkin // Ecological Applications. 2012. Volume 22. Issue 8. p. 2065–2077.
- 186. Drivers of the bark beetle disturbance regime in Alpine forests in Austria / F. Pasztor [et al.] // Forest Ecology and Management. 2014. Volume 318. p. 349–358.
- 187. Sustainable forest management in a mountain region in the Central Western Carpathians, northeastern Slovakia: the role of climate change / T. Hla'sny [et al.] // Regional Environmental Change 2015. 2017. Volume 17. Issue 1. p. 65–77.

- 188. Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och växthusgaser. Faktaunderlag till MINT-utredningen : Rapport / A. Nordin [et al.]. SLU, 2009. 47 p.
- 189. Mojligheter till intensivodling av skog : Slutrapport regering-suppdag Jo 2008/1885 / S. Larsson, T. Lundmark, G. Ståhl. SLU, 2009. 138 p.
- 190. Skador pa skog: Rapport / J. Witzell [et al.] // Skogsskotselserien. Number 12. SLU, Skogsstyrelsen, 2009. 193 p.
- 191. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2005 2011 : Preliminar rapport / J. de Jong [et al.] // Statens Energimyndighet, 2012. 218 p.
- 192. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous forest stands / S. Jacobson [et al.] // Forest. Ecol. Management. 2000. Volume 129. p. 41–51.
- 193. Hotspots of the European carbon cycle / G.J. Nabuurs [et al.] // Forest Ecology and Management. 2008. Volume 256. p. 194–200.
- 194. Effects of climate change and management on net climate impacts of production and utilization of energy biomass in Norway spruce with stable age-class distribution / Piritta Torssonen [et al.] // Global Change Biology Bioenergy. 2016. Volume 8. Issue 2. p. 419–427.
- 195. Sathre, R. Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels / R. Sathre, L. Gustavsson // Biomass and Bioenergy. 2011. Volume 35. Issue 7. p. 2506–2516.
- 196. Sathre, R. Time-dependent radiative forcing effects of forest fertilization and biomass substitution / R. Sathre, L. Gustavsson // Biogeochemistry. 2012. Volume 109. Issue 1–3. p. 203–218.
- 197. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy / L. Gustavsson [et al.] // Applied Energy. 2015. Volume 138. p. 36–50.
- 198. Torvelainen, J. Puun energiakäyttö 2013. / J. Torvelainen, E. Ylitalo, P. Nouro // Metsätilastotiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous), 31/2014. 7 s.
- 199. Природа Канады // [Электронный ресурс] Режим доступа: https://tonkosti.ru/Природа\_Канады. Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 200. Хашир, Б.О. Правовые аспекты рекреационного лесопользования США / Б.О. Хашир, Б. Киндер // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.rusnauka.com/22\_NNP\_2011/Economics/10 90939.doc.htm. Дата доступа: 13.12.2017 г.

- 201. Чернякевич, Л.М. Теоретико-методологические основы управления лесным хозяйством // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://csfm.volgatech.net/elearning/Chernyakevich/text/chapter1 1. HTML. Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 202. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects. / B.J. Bentz [et al.] // Bioscience. 2010. Volume 60. Issue 8. p. 602–613.
- 203. Peterson, D.L. Climate change and United States forests / D.L. Peterson, J.M. Vose, T. Patel-Weynand. New York: Springer, Dordrecht, 2014. 261 p.
- 204. Julius, S.H. Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research / S.H. Julius, J.M. West. U.S. Environmental Protection Agency, 2008. 873 p.
- 205. Managing climate change adaptation in forests: a case study from the US Southwest. / L.P. Kerhoulas [et al.] // Journal of Applied Ecology. 2013. Volume 50. Issue 6. p. 1311–1320.
- 206. Steenberg J.W.N. Exploring adaptation to climate change in the forests of central Nova Scotia, Canada / J.W.N. Steenberg, P.N. Duinker, P.G. Bush // Forest Ecology and Management. 2011. Volume 262. Issue 12. p. 2316–2327.
- 207. National Roadmap for Responding to Climate Change. U.S. Department of Agriculture, 2011. 32 p.
- 208. Strategic Plan. Office of the Assistant Secretary for Civil Rights. FY 2016-2020. U.S. Department of Agriculture, 2016. 39 p.
- 209. Forest Service Global Change Research Strategy, 2009–2019. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2009. 20 p.
- 210. Williamson, T.B. Barriers to enhanced and integrated climate change adaptation and mitigation in Canadian forest management / T.B. Williamson, H.W. Nelson // Canadian Journal of Forest Research. 2017. Volume 47. Number 12. p. 1567–1576.
- 211. A vision for Canada's forests: 2008 and beyond. Canadian Council of Forest Ministers, 2008. 16 p.
- 212. Climate change and forest management in Canada: impacts, adaptive capacity and adaptation options: a state of knowledge report / M. Johnston [et al.]. Sustainable forest Management network, 2010. 58 p.
- 213. Gray, P.A. Adapting sustainable forest management to climate change: a systematic approach for exploring organizational readiness / P.A. Gray. Canadian Council of Forest Ministers, 2012. 47 p.

- 214. Quintero-Méndez, M.A. Heuristic forest planning model for optimizing timber production and carbon sequestration in teak plantations / M. A. Quintero-Méndez, M. Jerez-Rico // iForest. 2017. Volume 10. p. 430–439.
- 215. Greenhouse gas emissions from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimates of yield and soil carbon balance in life cycle analyses / J. Hillier [et al.] // Bioenergy. 2009. Volume 1. Issue 4. p. 267–281.
- 216. Peatlands, climate change mitigation and biodiversity conservation: Policy brief / H. Joosten. Copenhagen, Nordic Council of Ministers, Rosendahls-Schultz Grafisk, 2015. 18 p.
- 217. Глобальная оценка лесных ресурсов 2010 года. Основной отчет // [Электронный ресурс] Режим доступа: http:// www.fao.org/docrep/014/i1757r/i1757r.pdf. Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 218. Дёжкин, В.В. Особо охраняемые природные территории мира и некоторые проблемы российского заповедного дела / В.В. Дёжкин // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://en.coolreferat.com/Особо\_охраняемые\_природные\_территории\_мира\_и\_некоторые\_ проблемы\_Российского\_заповедного\_дела. Дата доступа: 13.12.2017 г.
- 219. Late-summer carbon fluxes from Canadian forests and peatlands along an east-west continental transect / C. Coursolle [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. 2006. Volume 36. Number 3. p. 783–800.
- 220. Quantitative simulation of C budgets in a forest in Heilongijang province, China / B. Wang [et al.] // iForest. 2017. Volume 10. p. 128–135.
- 221. Carbon Dioxide Fluxes and Their Environmental Controls in a Riparian Forest within the Hyper-Arid Region of Northwest China / Xiaohong Ma [et al.] // Forests. 2017. Volume 8. Issue 10. http://www.mdpi.com/1999-4907/8/10/379/htm Дата доступа: 02.11.2017 г.
- 222. Carbon Sequestration in Protected Areas: A Case Study of an Abies religiosa (H.B.K.) Schlecht. et ChamForest / P. I. Fragoso-López [et al.] // Forests. 2017. Volume 8. Issue 11. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.mdpi.com/1999-4907/8/10/379/htm Дата доступа: 03.11.2017 г.
- 223. Assessing the effect of climate change on carbon sequestration in a Mexican dry forest in the Yucatan Peninsula / P. I. Fragoso-López [et al.] // Ecological Complexity. 2015. Volume 24. p. 46–56.

- 224. Estimating Carbon Dynamics in an Intact Lowland Mixed Dipterocarp Forest Using a Forest Carbon Model / Jongyeol Lee [et al.] // Forests. 2017. Volume 8. Issue 4. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.mdpi.com/1999-4907/8/10/379/htm Дата доступа: 03.11.2017 г.
- 225. Carbon storage, net primary production, and net ecosystem production in four major temperate forest types in northeastern China / Huiying Cai [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. 2016. Volume 46. Number 2. p. 143–151.
- 226. Zeng, W. Combination of nitrogen and phosphorus fertilization enhance ecosystem carbon sequestration in a nitrogen-limited temperate plantation of Northern China / W. Zeng, W. Wang // Forest Ecology and Management. 2015. Volume 341. p. 59–66.
- 227. Малышева, Н.В. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода / Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, А.Н. Филипчук, Т.А. Золина // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. T. 21. N 1. C. 4-13.
- 228. Инишева, Л.И. Региональные проблемы изучения природы и использования природных ресурсов / Л.И. Инишева, К.И. Кобак, И.Е. Турчинович // География и природные ресурсы 2013. N 3. С. 60—68.
- 229. Kobak, K.I., Kondrasheva N.Yu., Turchinovich I.Ye. Changes in carbon pools of peatland and forests in northwest- ern Russia during the Holocene // Global and Planetary Change. -1998. N 16-17. P.75-84.
- 230. Инишева, Л. И. Сток и эмиссия углерода в Васюганском болоте / Л.И. Инишева, Е.А. Головацкая // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 123—133.
- 231. Инишева, Л.И. Болота и биосфера / Л.И. Инишева // Введение к сборнику материалов VII Всерос. науч. школы (13–15 сентября 2010 г., Томск) Томск: Изд-во Том. пед. ун-та, 2010. С. 3–4.
- 232. Вомперский, С. Э. Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода / С.Э. Вомперский и др. // Глобальные изменения природной среды и климата. М., 1999. С. 124–145.
- 233 Балашенко С.А. Экологическое право Беларуси/ С.А. Балашенко. Мн.: Вышэйшая школа, 2016.-382 с.

- 234 Закон Республики Беларусь от 16 декабря 2008 года №2-3 «Об охране атмосферного воздуха».
- 235 Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Дата и место принятия: 09.05.92, Нью-Йорк.
- 236 Киотский протокол, принят на III Конференции Сторон РКИК (Киото, декабрь 1997 г.).
- 237. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 07.09.2006 № 1155 "Об утверждении Стратегии снижения выбросов и увеличения абсорбции поглотителями парниковых газов в Республике Беларусь на 2007 2012 годы"
- 238. Государственная программа мер по смягчению последствий изменения климата на 2013 2020 годы, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. № 510
- 239. Указ Президента Республики Беларусь от 07 мая 2012 г. № 224 «О проведении переговоров по проекту поправки к приложению В к Киотскому протоколу к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата».
- 240. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы. Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 26 мая 2011 г. № 669.
- 241. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10.04.2006 г. №485 «Об утверждении Положения о порядке ведения государственного кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов».
- 242. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 4.05.2006 г. №585 «Об утверждении Положения о Национальной системе инвентаризации парниковых газов» для выполнения обязательств Республики Беларусь по статье 5 Киотского протокола.
- 243. ПЛАН мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (Указ Президента Республики Беларусь от 20 сентября 2016 г. № 345)
- 244. Рамсарская конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве место-обитания водоплавающих птиц (Рамсар, Иран, 02.02. 1971) вступила в силу для Республики Беларусь: 10.09.99
  - 245. https://bibliofond.ru/view.aspx?id=437490

- 246. http://science. Sciencemag.org/content/354/6314/900
- 247. http://futurenow.ru
- 248. Формирование Национальных принципов «зеленой экономики» в Беларуси: Технический базовый отчет о реализации проекта «Техническая помощь для поддержки развития зеленой экономики в Беларуси» / Консорциум Хьюман Дайнамикс. Минск, 2015. 33 с.
- 249. http://givoyles.ru/articles/nauka/kakoe-derevo-vydelyaet-bolshe-kisloroda/
  - 250. http://pravo.levonevsky.org/bazaby11/republic24/text004.htm
  - 251. http://ifreestore.net/5633/18/
- 252. http://bahna.land/2012/06/07/мхи-и-лишайники-одни-из-лучших-поглотителей
- 253. Пологова, Н.Н. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота / Н.Н. Пологова, Е.Д. Лапшина // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 174—179.
- 254. UNSPF Стратегический план в отношении лесов Организации Объединенных Наций на период 2017–2030 годов

## Научное издание

Рожков Леонид Николаевич Войтов Игорь Витальевич Кулик Александр Антонович Багинский Владимир Феликсович Навойчик Леонид Леонидович Клыш Андрей Сергеевич Филон Дмитрий Иванович Юшкевич Михаил Валентинович Шиман Дмитрий Валентинович Жарская Тамара Александровна Лапицкая Ольга Владимировна Юревич Николай Николаевич Красовский Валентин Леонидович

## **ЛЕСОУГЛЕРОДНЫЙ РЕСУРС БЕЛАРУСИ**

Монография

В авторской редакции

Подписано в печать 13.07.2018. Формат  $60 \times 84^1/_{16}$ . Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 14,4. Уч.-изд. л. 14,8. Тираж 300 экз. 3аказ .

Издатель и полиграфическое исполнение: УО «Белорусский государственный технологический университет». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/227 от 20.03.2014. Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.