



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической  
безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

**На тему:** «Оценка пула углерода в лесном детрите первичных лесов средней  
тайги Двино-Мезенского ландшафтного района»

**Исполнитель** Сушилини Никита Константинович  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель** кандидат биологических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)  
Рижия Елена Яновна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

  
(подпись)

кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«7» июня 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## Введение

В последние годы прослеживается смещение основных целей лесоправления, таких как максимизации продукции древесины, на сохранение биологического разнообразия и поддержания естественного развития лесных экосистем. Сохранение параметров и функций этих экосистем является важнейшим принципом устойчивого самовоспроизводства [9].

Основная функция лесного фонда - первичная продукция, которая смягчает амплитуду изменения климата, и это сейчас является базовой целью прикладной экологии. Еще одна важная функция лесных экосистем заключается в регулировании баланса атмосферного углерода, так как прирост фитомассы, соответственно, связывает углерод в заметных количествах. Стимулируют это накопление в биогеоценозе такие процессы, как продукция древостоев и нижних ярусов растительности, депонирование торфа в болотных экосистемах, накопление опада в подстилке лесных экосистем, накопление сухостоя, возобновление лесного фонда [17].

Нарушения, к которым относятся такие процессы, как рубки, пожары, ветровалы и последующее разложение древесных остатков приводят к уменьшению накопления углерода внутри лесных экосистем и, соответственно, к увеличению поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу. Также вынос углерода с последующим поступлением в атмосферу происходит при разложении порубочных остатков, минерализации лесной подстилки и в результате процесса дыхания растительности [21].

В России находится порядка 30 % общемировых запасов лесов, которые весьма интенсивно изучаются с начала 90-х годов прошлого века. Выполнены важные аналитические обзоры, разработаны эффективные методы оценки и подсчета запасов и депонирования углерода. В результате весьма обширно и емко сформировано представление об углеродном цикле в лесном фонде Российской Федерации, точно указаны запасы, годовое депонирование

углерода фитомассы и органического углерода почв в масштабах лесного пояса России [12].

Но существуют неопределенности в оценках углеродного бюджета из-за присутствующих дыр в сведениях о компонентах фитомассы биогеоценозов и пулов углерода отдельных территорий.

Необходимым этапом разработки моделей лесных экосистем, требуемых для точного прогнозирования влияния жизнедеятельности лесов на углеродный цикл, является накопление эмпирических данных о продукционной структуре лесных экосистем.

Цель работы - оценка пула углерода в лесном детрите первичных лесов средней тайги Двино-Мезенского ландшафтного района.

Задачи работы:

- оценка резервуара углерода в составе крупномерных древесных остатков (КДО) в древостоях первичных лесов разных типов средней тайги Двино-Мезенского ландшафтного района;

- оценка зависимости количества связанного углерода с возрастом и типом лесного насаждения;

- составление рекомендаций по уменьшению высвобождения аккумулированного углерода в лесном детрите первичных лесов средней тайги Двино-Мезенского ландшафтного района.

Предмет - пул углерода в лесном детрите первичных лесов средней тайги Двино-Мезенского ландшафтного района.

Объект - первичные леса средней тайги Двино-Мезенского ландшафтного района.

# Глава 1. Морфолого-таксонометрическая характеристика лесов Двино-Мезенского ландшафтного района

## 1.1. Общая характеристика региона

Район находится в таежной зоне восточной части Европейской России и включает в себя Архангельскую область и республику Коми.

Обширная часть территории - холмистая равнина, ограниченная речными системами бассейнов Северной Двины и Мезени.

Рисунок 1 - Двино-Мезенский район (граница показана голубым цветом)  
[9]

Территория является частью Атлантико-континентальной климатической области. Средние многолетние значения годовой температуры – 0.3 °С... +1.0 °С, амплитуда между максимальными минимумами и максимумами составляет порядка 90 °С (от – 54 до + 37 °С). Солнечная радиация, в сумме, в районе является равной 2931 МДж/м<sup>2</sup>, радиационный баланс – около 1047 МДж/м<sup>2</sup>. Район расположен на открытой обширной равнине и, как следствие из этого, в районе присутствуют различные воздушные массы из довольно удаленных районов Евразии [10].

Двинско-Мезенское междуречье находит свое местоположение на западном склоне Мезенской синеклизы. Фундамент платформы при движении на восток увеличивает свою мощность с 1.3 до 2.6 км.

На облик поверхности Двино-Мезенского междуречья оказали больше влияние четвертичные оледенения. Следы древнейших из них (ранний плейстоцен) почти полностью уничтожили ледники последующих оледенений.

Современный облик рельефа и механический состав почвогрунтов обусловлен влиянием последнего на этой территории оледенения - московского (175–130 тысяч лет назад). Отложенная в процессе хода ледника морена представляет собой красновато-коричневые средние суглинки, с включениями в виде 5–20 % дресвы, щебня, местами —валунов слабой окатанности кристаллических пород. Мощность отложений равна десяткам метров, однако в низинах Северной Двины и Пинеги, этот слой утончается и перекрывается озёрно-ледниковыми, морскими осадками, так как был размыт.

Территория междуречья имеет высокую степень лесистости: 92% (примерно 1020 тыс. га) занимают лесные земли, 6.6% — болота, остальные 1.4% — водные объекты, сенокосы, дороги и просеки [17].

Около 173 лет составляет возраст древесных пород, усредненный запас спелых и перестойных насаждений — 157 м<sup>3</sup>/га. Основная доля (67%) лесов территории относится к долгомошной группе типов леса, имеет V класс бонитета, также часто встречаются и сравнительно высокобонитетные сосновые и еловые леса.

Главной лесообразующей породой на территории междуречья является ель сибирская (*Picea obovata*) и гибридные формы ели (*P. obovata x fennica*) — порядка 80.3% от лесной площади, сосновые леса (*Pinus sylvestris*) занимают 13.1%, участки с преобладанием берёзы (*Betula pubescens*) – 5.6% территории. Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) встречается в виде примеси (до 0.3%) [14].

Рисунок 2 - Преобладающие лесные формации и типы нелесных земель междуречий Северной Двины и Пинеги, а также Северной Двины и Мезени

[16]

Растительность Двино-Мезенского ландшафтного района представлена в основном сообществами средней и северной тайги.

Тажные хвойные леса разделяются на темнохвойные и светлохвойные. На их распределение оказывают влияние изменения климата, а также характер почвогрунтов, обуславливаемый геологическим строением.

В горной полосе и в западных предгорьях Урала преобладают темнохвойные леса, представленные сообществами, в разнообразии которых доминируют ель, пихта и кедр. Главная лесобразующая порода – ель. Влияние пихты на количественный состав древостоя невелико.

Климатические условия территории – переувлажнение, весьма благоприятный температурный режим, что характеризуется увеличением в составе сообществ влаголюбивых теневыносливых деревьев.

На востоке предгорных систем Урала возрастает континентальность климата, что вынуждает темнохвойные леса уступить эти районы светлохвойным лесным экосистемам [7].

Древостой в таких лесах представлен в большинстве своем сосной с примесью лиственницы. Широкое распространение сосны связано с ее высокой адаптивностью к менее благоприятным условиям обитания. Она произрастает на небогатых песчаных и каменистых почвах, на довольно крутых каменистых склонах, эффективно переносит переувлажнение, встречается в заболоченных районах, где представлена низкопродуктивными насаждениями из угнетенных, низкорослых деревьев.

Обширные площади региона заселены производными вторичными березовыми и осиново-березовыми лесами на месте хвойных лесов. Береза, аналогично сосне, характеризуется высокой неприхотливостью к трудным жизнеобеспечивающим условиям, что гарантирует высокие скорости ее появления на местах вырубок, гари, луга, что приводит к частым конкуренциям с сосной [1].

## 1.2. Характеристика лесов Республики Коми

Лесной фонд Республики Коми в большинстве своем находится в зоне тайги европейского Северо-Востока. К притундровым редколесьям и северной подзоне тайги относится 48,5% всей лесной площади. Средняя подзона включает в себе 39,5% общей площади лесов, но несмотря на более мягкие лесорастительные условия - продуктивность лесов и остается здесь весьма низкой. Самые продуктивные леса в Коми базируются в южной подзоне тайги, однако их площадь весьма невелика - около 2% от общих запасов леса [19].

Стоит отметить, что данные леса относятся к категории главного пользования. Главное пользование лесами - пользование в спелых и перестойных древостоях. Объем главного пользования задается с учетом ряда факторов. В основном это: группа лесов и категория защитности; способы и возрасты рубок и т.д.

Различают 3 основные системы рубок главного пользования: сплошные, постепенные и выборочные. Способ рубки и ее лесоводственный режим устанавливают после анализа особенностей лесных экосистем, их экологического и социально-экономического значения, специфики лесовозобновления. Спелые и перестойные леса доминируют в рассматриваемом регионе, исходя из чего главное лесопользование в основном осуществляется с помощью сплошнолесосечных технологий лесозаготовок [21].

Главное пользование ссылается на расчет ежегодного размера рубки леса - расчетную лесосеку, вводимую при лесоустройстве в роли максимально допустимого порога ежегодной рубки леса отдельно для каждого объекта лесоустройства, как правило - лесхоза или арендатора.

К слову, на всем Европейском Севере нет лесных систем, в которых бы отмечалось большее разнообразие видов, чем в Республике Коми. Верхний ярус сложен 8 видами хвойных и порядка 20 видов лиственных древесных растений. Весьма обширно представлены сибирские виды [9].

Лесообразующие хвойные породы Республики Коми представлены четырьмя родами из семейства сосновых. Род пихта принимает участие в видовом разнообразии одним видом — пихтой сибирской (*Abies sibirica*), род лиственница — лиственницей сибирской (*Larix sibirica*). К роду ель принадлежит доминирующая в Коми порода — ель сибирская (*Picea obovata*). В южной подзоне таежных лесов местами можно встретить скопления ели европейской (*Picea abies*). Эти два вида елей на обширной территории средней подзоны тайги Севера Европейской части РФ, в основном в западной ее части, активно гибридизируют, и четкую границу в их распространении установить практически невозможно.

Род сосна в рассматриваемом районе сформирован двумя видами: соснами обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и сибирской, или кедровой (*P. sibirica*). В роли подлеска, реже в виде низкорослых древовидных форм, с высокой степенью распространения выступает можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), а в северных и горных районах — можжевельник сибирский (*J. sibirica*) [4].

Лиственные лесообразующие породы представлены двумя семействами — березовые и ивовые. В семейство березовые входит род *Betula*, из которого наиболее распространены в лесах Коми береза повислая (*B. pendula Roth.*) и береза пушистая (*B. pubescens Ehrh.*) В северной тайге, в лесотундре и на горных склонах Урала произрастает береза извилистая (*B. tortuosa Ledeb.*) На болотах и в лесотундре, в равнинных и горных тундрах значительные площади занимают кустарниковый вид береза низкая (*B. humilis Schrank*) и карликовая березка (*B. nana L.*). К семейству березовых также относится род ольха (*Alnus*) с двумя видами, распространенными в основном в средней и южной частях республики, ольхой серой (*A. incana (L.) Moench.*) и ольхой черной (*A. glutinosa (L.) Gaertn.*). В это же семейство входит род ольховник (*Duschekia*), с одним видом — ольховником кустарниковыми (*Duschekia fruticosa (Rupr.) Pouzar*), распространение которого тяготеет к северо-востоку Республики. Семейство ивовые (*Salicaceae*) представлено в лесах Коми родом тополь (*Populus*), с

одним видом — осиной (тополем дрожащим) (*P. tremula. L.*) и родом ива (*Salix*), насчитывающим более 20 древесных и кустарниковых видов. Из древесных видов наиболее распространены ива трехтычинковая (*Salix triandra L.*), ива пятитычинковая (*S. pentandra L.*), ива узколистная (*S. acutifolia Wild*) и некоторые другие, а из кустарниковых — ива филиколистная (*S. phylicifolia L.*), ива Старка (*S. starkeana Willd*), ива корзиночная (*S. viminalis*) и др. [8].

В северных регионах низкое плодородие почв, их частая переувлажненность, короткий вегетационный период, своеобразный световой режим, малая сумма эффективных температур, частая смена погодных условий обуславливают низкую продуктивность лесов, оказывают неблагоприятное влияние на развитие древесных растений. Под влиянием экстремальных экологических факторов древесные растения в процессе адаптации к условиям Севера образуют ряд приспособительных форм — экотипов, которые могут значительно отличаться от деревьев того или иного вида, произрастающих в оптимальных для данной породы условиях. При продвижении на север у хвойных растений изменяется габитус крон — они, как правило, становятся уже, приобретают пирамидальную или узкоконическую форму. Для Севера также характерна низкая сбежистость крон. На крайних пределах своего распространения сосна, ель, лиственница, пихта часто образуют стелющиеся, стланиковые формы. Продолжительность жизни хвои возрастает, длина ее сокращается, но общая охвоенность побегов значительно увеличивается [5].

Темнохвойные леса в большинстве своем относятся к таким группам типов леса, как черничный влажный и крупнопапоротниковый.

Пихтово-еловые и пихтово–кедрово-еловые насаждения с березой черничного влажного типа леса рассредоточены по береговым склонам различных экспозиций с уклонами от 1,5° до 4°.

Древостой представлены сложными двух-трехъярусными формами. Полнота ярусов совместно с общим запасом древесины изменяются в

обширном диапазоне, завися напрямую от состава насаждений и возрастного контраста составляющих элементов леса.

Наблюдается доминирование ели и пихты в процессе естественного возобновления. Подлесок весьма прорежен и состоит в основном из рябины и малины. В травяно-кустарничковом ярусе повсеместно распространены черника, хвощ лесной, осоки.

Моховой покров сложен кукушкиным льном, реже наблюдается плевроциум, местами - гилокомий, сфагновые мхи [6].

Смешанные темнохвойные насаждения крупнопоротникового типа леса произрастают на склонах различных экспозиций с уклонами 3-6°. В составе естественного возобновления преобладает ель и пихта. Доминирует подрост средней категории крупности (высота 0.6-1.5 м). В подлеске местами наблюдается рябина, малина, шиповник иглистый. Доминирование папоротников, хвоща лесного и осоки наблюдается в составе травяно-кустарничкового яруса. Мохово-лишайниковый покров не обладает интенсивным развитием и представлен слабо. В микроповышениях можно встретить плевроциум, в микропонижениях – виды сфагнов.

Средневзвешенный возраст ели через запас условно одновозрастных 40 - летних поколений варьируется от 159 до 199 лет. Наиболее представлены древостои 160-200 лет [8].

Распределения типов и запасов ели по возрастным интервалам и градациям толщины лишней раз подтверждают общие закономерности распределения деревьев по ступеням толщины и разрядам возраста. Популяции ели в фитоценозе представлены в 4-см ступенях толщины с момента образования всходов до их развития в класс крупномерных деревьев. Отпад наблюдается во всех ступенях толщины с четко прослеживающейся закономерностью - он больше у более младших экземпляров, что совпадает с традиционным представлением о самоизреживании древостоев [2].

Светлохвойные леса в Республике Коми состоят из двух формаций — сосновой и лиственничной, выделяемых по доминирующим хвойным породам.

Главной лесобразующей породой сосновых лесов Республики Коми является сосна обыкновенная, презентованная северными экотипами. В лиственничных лесах преобладает лиственница сибирская. В древостоях светлохвойных лесов обеих формаций в качестве примеси присутствуют ель сибирская и ее гибридные формы, березы пушистая и повислая, реже осина, в сосняках — лиственница сибирская, в лиственничниках — сосна обыкновенная.

В распространении сосны на европейском Севере можно заметить закономерность: ее доля в лесах понижается в направлении с запада на восток. Внушительные массивы сосновых лесов приписаны к бассейнам рек Вычегды, Сысолы, Вашки, Мезени, Кедвы, Выми, средней и верхней Печоры.

Сосновые леса занимают в Республике Коми около 7 млн. гектаров. Они предпочитают для произрастания древнеаллювиальные террасы рек, флювиогляциальные равнины заболоченных междуречьях на самых разных почвах: торфяных, песчаных подзолах, супесях, суглинках, глинах, а также на известняках и скалах. Благодаря широкой экологической амплитуде сосны обыкновенной, она организует леса как в сухих, так и во влажных условиях, где конкуренция с другими породами, особенно с елью, практически исчезает. На более богатых почвах с достаточным увлажнением сосна быстро вытесняется елью, которая хорошо возобновляется под пологом сосны и местами образует в сосняках второй полог. Важным фактором, способствующим сохранению сосновых древостоев, являются низовые пожары, уничтожающие еловый подрост [3].

По характеру напочвенного покрова в сосновых лесах и преобладающих в них видов растений в Республике Коми представлены 6 основных типов: сосняки лишайниковые, зеленомошные, долгомошные, сфагновые, зеленомошно-сфагновые и травяно-сфагновые. Далекую не второстепенную ценологическую роль в сосняках играют лишайники и мхи. Разнообразие сосудистых споровых и семенных растений малоинтенсивно: в таежной зоне региона в сосняках их отмечено порядка 140 видов.

При движении на юг видовое богатство увеличивается: в северной тайге 80, а в средней — 130 видов. Флористический комплекс сосновых лесов включает лишь 15% всей флоры республики. Большим разнообразием обладают семейства розоцветные, мятликовые, астровые и осоковые (от 8 до 18 видов каждое). Постоянными видами в напочвенном составе сосняков обеих подзон являются черника, брусника, осока шаровидная, в северной тайге — багульник, вороника, морошка, пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*). Лимиты для распространения сосны обыкновенной на северо-востоке Европейской части РФ в настоящее время достаточно не изучена [14].

Самые северные места произрастания сосны находятся между средним течением р. Сулы и Печоры, а также между Печорой и нижним течением р. Шапкиной. Отдельные куртинные сосняки отмечены по рекам Созве, Ерсе, Лае, Косью, на правом берегу р. Колвы. На горных склонах Урала в пределах Республики Коми сосна не представлена, единичные места ее произрастания встречаются лишь на Северном Урале.

Лиственничные леса, образованные лиственницей сибирской или с ее доминированием, представлены в малых количествах и произрастают не более чем на 1% территории Республики Коми. Они распространены в полугорных (Тиман), в горных (Урал) и равнинных территориях. Произрастают на слабо-, средне- и скрытоподзолистых, горных маломощных почвах разного механического состава: от песков до грубокаменистых осыпей, которые чуть ли не обездолены почвенным покровом. Лиственничные леса приурочены к известьсодержащим породам, которые являются подстилающим элементом почвы, а иногда выходят на поверхность (Тиман) [12].

При продвижении с юга на север и одновременном подъеме в горы, таксационные характеристики лиственничников падают. Максимальную высоту 30-35 м и диаметр в 48-60 см лиственница приобретает при постоянном нахождении в оптимальных условиях жизнедеятельности. На крайнем севере распространения лиственничных лесов эти показатели являются равными 4-8 м и 7-12 см соответственно. Воспроизводство лиственницы неэффективно,

вследствие чего она зачастую бывает вытесненной елью, которая продуцирует весьма частый подрост, а позже — хорошо представленный второй древесный ярус. Продолжительное существование лесов этой формации обеспечивает повышенная пожароустойчивость лиственницы: после пожара ель и береза полностью ликвидируется, а деревья лиственницы сохраняются со всеми жизнеобеспечивающими функциями. Лиственничные леса встречаются в Республике Коми местами, их вкрапления располагаются между еловыми и сосновыми лесами в районе бассейнов рек Тимана: Космы, Цильмы, Мылы и т.д., в верхнем течении Ижмы. На Урале лиственничники распространены между 63 и 67°с.ш., на равнинах — по рекам Мезень и Вашка. Отдельные обособленные скопления лиственничников встречаются намного севернее [5].

Популярно выделение таких типов лиственничников, как: лишайниковый, зеленомошный, долгомошный, сфагновый и травянистый.

Единично лиственница встречается в составе хвойных лесов по всей территории Республики Коми и на востоке Архангельской области.

## Глава 2. Запасы углерода в растительной составляющей фитоценоза

### 2.1 Структура запасов углерода в лесном фитоценозе

Являясь элементом-каркасом органического вещества, углерод доминирует в перерасчете его на сухую массу. Например, сосредоточение углерода в фитомассе (сухой биомассе растений) варьируется в диапазоне от 45 до 53 %. Этим обуславливается формирование пулов углерода в районах с повышенным углеродным фондом. Пулы представляют собой некий “резервуар” исследуемого элемента.

В лесных экосистемах существует порядка четырех видов пула углерода: фитомасса, фитодетрит (отмершая древесина), подстилка, органическое вещество почвенного фонда.

Фитомасса древостоя, в свою очередь, складывается из таких элементов, как: корни, стволы, крупные и тонкие ветви, хвоя, листья, генеративные органы [6].

Фитодетрит представляют сухостой, валеж, отмершие и опавшие ветви в кронах, мертвые корни, пни от вырубок.

Подстилка представлена тремя слоями: неразложившийся, состоящий из свежего опада; ферментативный, в котором наблюдается самая высокая активность редуцирующих организмов; слой растительных остатков, подвергающихся процессу гумификации.

Органическое вещество почв включает в себе гумус, а при избыточном увлажнении почвы добавляется еще одно составляющее - торф.

Вследствие взросления древостоя возникает отмирание части деревьев, что обусловлено весьма жесткой конкуренцией видов за наиболее освещенные участки произрастания. Этот процесс называется отпад, характеризующийся транспортировкой углерода из фитомассы в пул отмершей древесины. Мертвая древесина подвергается процессам разложения, возвращающим углерод, находящийся непосредственно в растении при жизни, обратно в атмосферу.

Переходит углерода из сухой биомассы растений через пулы подстилки и мертвой древесины в почву около 5–10 % от его массы в опаде [20].

### Рисунок 3 - Схема перемещения углерода [21]

#### 2.2 Живые части растений, содержащие углерод

В удержании углерода в фитомассе спелых ельников первостепенную роль (90%) играют древесные растения, а на вырубке – растения напочвенного покрова (77%) [19].

Не только травянистая растительность, но и полукустарниковые и кустарничковые растения, мхи, лишайники и грибы, составляющие единый неразделимый ярус, несмотря на то что они представлены разными формами жизни, относятся к почвенному покрову. Живой напочвенный покров имеет огромное значение для обеспечения жизнедеятельности лесного фитоценоза. От уровня развития подпологовой растительности сильно зависит количество осадков, задержанных во время таяния снега, свойства почв противостоять процессам эрозии, а также микроклимат в приземных слоях атмосферы. Ощутима роль растений травяно-кустарничкового яруса, так как они представляют собой источник питания для животного мира лесных экосистем. Численность, степень покрытия, а также разрастание напочвенного покрова в лесу влияет на скорость и качество возобновления леса.

Живого почвенного покрова обладает следующими признаками: видовой состав растений, встречаемость, проективное покрытие, множество, соотношения между ними (количественные и качественные), ярусность и др [13].

Таблица 1 Содержание углерода (т/га) в живом напочвенном покрове в зависимости от проективного покрытия [1]

Обилие по Друде	Проективное покрытие, %	Травянистый ярус		Мохово-лишайниковый	
		Запас, т/га	тС/га	Масса, т/га	тС/га
Растения смыкаются надземными частями, образуя фон	Более 90	6,4	3,2	3,8	1,9
Растения встречаются в большом количестве	90-70	3,8-5,9	2,43	2,9-3,2	1,53

Очень много	70-50	1,9-4,1	1,50	1,2-3,0	1,05
Довольно много	50-30	0,5-2,1	0,65	0,5-1,8	0,56
Растения встречаются в небольшом количестве	30-10	0,1-1,2	0,33	0,1-0,7	0,2
Редкие экземпляры	Менее 10	0,01-0,2	0,05	0,02-0,2	0,05
Вид найден в единичном экземпляре	единично	-	-	-	-

Степень накопленности органического углерода в подстилке и его содержание в долях, необходимо вычислять с помощью ее массы в сухом состоянии. Содержание углерода в подстилке, в зависимости от ее мощности и запаса, представлено в Таблице 2.

Таблица 2. Содержание углерода в подстилке в зависимости от мощности горизонта [1]

Мощность, см	Запас, кг/м <sup>2</sup>	Средний запас, т/га	Содержание углерода, тС/га
1-2	1,0-1,6	13,0	5,86
3-5	3,1-5,3	42,0	19,36
5-15	6,2-10,3	82,5	38,03
Более 15	10,5-30,0	402,5	185,55

Чтобы охарактеризовать породы подроста, указывают видовой состав, численность каждого вида, высоты (среднюю и максимальную) и жизненность. Ярус подлеска имеет разные уровни развития в лесных экосистемах, зачастую степень развития оценивается неудовлетворительно. Чаще всего подлесок представлен фрагментами, а при единичном произрастании кустарников в основном не является ярко выраженным.

При изучении регенерации леса, подроста и подлеска выявляются количественные и качественные показатели. Для учета осуществляется закладка учетных площадок. Обследование производится с помощью визуального метода. Породный состав самосева, подроста и подлеска устанавливается по численному соотношению стволов видообразующих пород [24].

Для практической оценки подлеска и подроста при депонировании углерода используется шкала, представленная в Таблице 3. Данные, полученные при обследовании естественной регенерации подроста и подлеска, также используются для оценки процессов лесовосстановления и планирования видов рубок лесного фонда [9].

Таблица 3. Содержание углерода в подросте и подлеске лесного насаждения [2]

Подрост	Кол-во, тыс. шт./га	Биомасса сухого в-ва, т/га	Среднее значение биомассы сухого в-ва, т/га	Содержание углерода, тС/га
Очень редкий	Менее 1	До 0,5	0,5	0,25
Редкий	1,0	0,6-1,7	1,15	0,58
Средний	1,5	1,5-7,6	4,55	2,09
Густой	2,0	3,8-22,6	13,2	6,60
Очень густой	Более 13	15,5-81	47,25	23,62

### 2.3 Запас углерода в древесном детрите

К фитодетриту относят мертвые растительные остатки, включающие в себя лесную подстилку и мертвые корни [5].

Детрит является активной и существенной составляющей запасов углерода в лесных экосистемах, принимающей участие в круговороте веществ и являющейся одним из промежуточных звеньев в его потоках в системе почва–фитоценоз в лесах средней тайги.

Древесный дебрис представляет собой комплекс, состоящий из трех компонентов: сухостой, валеж, подземный дебрис (отпад корней).

Так, в первичном чернично-сфагновом ельнике в среднем для Архангельской области сухостойных деревьев 95 экз./га, валежа – 200 экз./га. Общие запасы углерода в фитодетрите древостоя (сухостойные деревья и остолоп) велики– 7.49 тС/га. Большая часть фитодетрита сокрыта в стволовой древесине (58.7%) [8].

Разложение фитодетрита это совокупность одновременно происходящих процессов минерализации и гумификации. Степень и скорость минерализации сухой биомассы растений определяется разницей между углеродом, освободившемся при разложении и включившемся в новообразование гумусовых веществ.

Часть свежего гумуса аккумулируется в почве, занимая место подвижного органического вещества почвы, находящегося на стадии минерализации, что приводит к матричной достройке гумуса продуктами фитодетрита, который в свою очередь находится на стадии разложения. Синтезированный гумус, остающийся в почве, перерабатывается микрофлорой, впоследствии сливаясь с минерализационным потоком углерода в атмосферу.

Аккумуляция углерода в валеже, образованного елью, составляет 8.23 тС/га, из них 19.7% относится к древесине, находящейся на первой стадии гниения, 40.2% – второй, 29.0% – третьей и 11.0% – четвертой.

Исходя из вышесказанного, в старовозрастном заболоченном ельнике запас дегриза составляет 15.72 тС/га, или 8.5% углерода от общего числого состава пула фитоценоза [14].

При первичном этапе формирования фитоценоза по итогу рубки древостоя в аккумуляции углерода весома (51,8%) роль КДО.

Углерод концентрируется в основном в тонкомерных деревьях недоруба и семенниках, что составляет 36,3% запасов, в древесных растениях самосева и подросте – 2,3%, растениях напочвенного покрова – 9,6%.

Важно выделить, что отличий между пулами углерода на вырубке двух типов ельников, произрастающих на полугидроморфных почвах, не наблюдается, а все отклонения в подсчетах не выходят за пределы случайных отклонений данного показателя [17].

#### 2.4 Потоки углерода в деструкционном звене.

Процесс деструкции возвращает изъятый из атмосферы в процессе фотосинтеза, вследствие создания чистой первичной продукции, углерод в место изначального базирования (углекислый газ в составе атмосферы). Осуществление возврата происходит путем минерализации органического вещества отмершего растительного материала до конечных продуктов распада и гумификации.

Лесной опад, переводя углерод из состава фитомассы непосредственно в подстилку, имеет большое значение в обмене веществ между фитоценозом и почвой [19].

Интенсивность деструкционного потока показывает массу вещества, находящуюся в единице площади рассматриваемого района, которая транспортируется из одного блока в другой за определенную единицу времени (чаще всего - сутки). Удельная скорость потока показывает долю от запаса вещества в блоке, на которую вещество убывает (или прибывает) за единицу времени, и имеет размерность, обратную времени (мгС/г в сутки).

Мощность лесной подстилки характеризуется количеством и составом, а также интенсивностью разложения поступающего опада. Немалую роль в этом процессе играют морфологическое строение и свойства почвы [6].

Ежегодно в подстилку чернично-сфагнового ельника с древесным опадом поступает 126.42 гС/м<sup>2</sup> в год. Большой внос производит хвоя, ветви и шишки ели – 56.1, 11.4 и 9.9% соответственно, листья березы – 8.1%, эпифитные лишайники – 3.7%, кора ели и сосны – 1.7%, листья осины, березы и сосны – 1.1%, прочих компонентов – 12.9%. Корнепад древесных растений в таком ельнике составил 0.79 тС/га, травяно-кустарничкового яруса – 0.19 тС/га. Таким образом, общая масса опада является равной 2.55 тС/га в год. Наибольший весовой коэффициент лесного опада принадлежит надземному опадку древесного яруса, а также корнепаду древостоя – 49.4% и 31.0% соответственно [8].

Сплошнолесосечные рубки в ельниках имеют весомое влияние в обменных процессах углерода в системе почва–фитоценоз. В среднетаёжных ельниках в процессе рубки в зимнее время года - 40–44% углерода от его сосредоточений в фитомассе, покидает пределы ценоза [4].

В КДО (крупных древесных остатках) на вырубках ельников черничных и долгомошно-сфагновых углерод накапливается в: порубочных остатках, в валеже, в сухостойных деревьях и сухих ветвях растущих деревьев, в корнях (наибольшее). С КДО после рубки дополнительно в почву поступает 21,96–27,57 тыс. кгС/га. Важно заметить, что в настоящее время роль древесного детрита, особенно корней вырубленных деревьев, в углеродном цикле, выявлена не до конца.

Продукция углерода фитомассы на вырубке ельников примерно в 1,5 раза меньше, чем до рубки. До - 3432 кг/га в год, после - 1827 кг/га в год.

Масса углерода, проникающего в почву с растительным опадом, на вырубке ельника черничного влажного равняется 1439 кг/га в год, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 1679 кг/га в год, что составляет 58–78% от ежегодной его продукции. На вырубке ельников на опад надземных органов

растений приходится 55–60% от общей его массы. Роль травянистых растений и мхов в формировании растительных остатков опада на вырубке резко увеличивается по сравнению с нетронутым лесом и составляет 89% [16].

Большое количество углерода, с порубочными остатками и корнями добытых человеком древесных растений, внедряется в почву. Величина поступления углерода таким образом в 3 раза больше, чем годовое поступление от опада.

При исследовании функционирования экосистем вырубки весьма важна оценка запасов мёртвого органического вещества, их пространственное распределение, соотношения углерода живой и мёртвой фитомассы. Запас последнего определяется суммой углерода из древесного детрита (КДО) и лесной подстилки.

Баланс углерода органического вещества в экосистемах среднетаежных лесов определяется: количеством фитопродукции, потерями при отторжении с опадом, отпадом с последующей трансформацией на поверхности почвы. Мёртвое органическое вещество на поверхности почвы – основа формирования лесной подстилки, как в нетронутых ельниках, так и на вырубках.

На вырубке среднетаёжных ельников на торфянистопodzолисто-глееватых почвах сохранение органического вещества исключительно доминирует над минерализацией.

Показатель C/N косвенно характеризует степень разложения и гумификации растительных остатков. Наиболее эффективно разлагаются листья берёзы, величина C/N в них составляет 35–38. Это соотношение у хвои ели и сосны изменяется от 40 до 66. Показатель C/N в растительных остатках органогенного горизонта на вырубке составляет 32,7–35,0 [12].

### Глава 3. Методика сбора и анализ данных, полученных при сборе в Двино-Мезенском ландшафтном районе

Полевые работы осуществлялись сотрудниками МГЭИК на постоянных, либо вновь заложенных площадях. Площадки отбирались по доминирующему в древесных насаждениях породам, типам леса, группам возраста, а в коренных лесах, помимо вышесказанного, возрастным составом и фазам возрастной динамики древостоя. Данные о запасах и структуре КДО в коренных лесах собраны на 170 площадках.

В полевых условиях проводились описания древостоя, растительных сообществ и почвы, датировались временные промежутки пожаров и весомых ветровальных нарушений, определялся тип леса. При помощи анализа архивной информации, а также материалов лесоустройства и данных других исследований воспроизводилась история нарушений в процессах биогеоценозов [13].

Принадлежность древостоя к возрастным структурам определялась по классификации, предложенной С.А. Дыренковым (Таблица 4).

Также оценивались пулы углерода фитомассы и почвы для количественной оценки роли КДО в общем углеродном пуле Двино-Мезенского ландшафтного района.

Для оценки баланса углерода КДО учитывались значения потоков углерода в связи с отпадом древостоя и в связи с разложением крупных древесных остатков.

Таблица 4 - Классификация возрастной структуры древостоя для ельников черничного и долгомошного [19]

Классы возраста древостоев	Ельник черничный					Ельник долгомошный				
	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Доля в составе лиственных пород, %	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Доля в составе лиственных пород, %
V	17,0	17,0	0,72	156	23	16,0	14,8	0,60	124	28
VI	18,0	18,4	0,78	204	25	16,3	15,7	0,58	137	7
VII	20,1	18,1	0,65	186	17	17,7	16,6	0,58	133	12
VIII	21,3	19,0	0,63	178	9	16,6	16,9	0,54	129	10
IX	20,9	18,6	0,58	159	6	16,8	14,9	0,55	113	10
X и выше	20,0	18,0	0,58	148	3	16,8	17,0	0,62	120	8
V, %	10	11	20	23	-	12	11	12	28	-

Объем отпада вычислялся с помощью применения некоторых методик:

- 1) по данным учетов на постоянных пробных площадях за разные периоды;
- 2) дендрохронологическим методом определялся возраст объектов КДО и оценивался усредненный за 5 лет объем отпада;
- 3) Средний за пятилетку объем отпада на площадках размером 20-40 м определялся возрастом каждого дерева;

4) Отношение количества запасов КДО 1-го класса разложения по породам, к времени нахождения каждой породы на этой стадии [8].

Масса углерода находилась произведением вычисленного отпада в м<sup>3</sup>/га на плотность древесины. Для вычисления отпада по фитомассе корней и ветвей, отпад по запасу по породам умножали на соответствующие конверсионные коэффициенты [1].

Для получения значения отпада коры по фитомассе производились вычисления путем произведения отпада коры по объему по породам на плотность коры. Значение отпада коры составляли некоторый процент от отпада по запасу стволовой древесины.

Суммой стволового отпада древостоя, ветвей, коры и корней определялся общий отпад древесных насаждений. Данные получались в размерности Мг/га, затем переводились в МгС/га с коэффициентом 0.5 [7].

Используя данные о распределении по породам КДО, классам разложения и категориям детрита, коэффициенты отношения корней и ветвей фитомассы к объемам стволов древостоя и модели фракционного разложения КДО, оценивался пул углерода на исследуемых площадках.

Расчет пула углерода производим путем операции вычитания из процента потери массы детрита запаса углерода за год, прошедший со среднего для данного класса разложения временного промежутка.

Для того, чтобы охарактеризовать крупные древесные остатки древостоя, закладываются 2 трансекты длиной около 50 м крест на крест, направлениями С-Ю, З-В соответственно, место пересечения - центр выдела [5].

На полосе и на линии шириной 4 м (по 2 м в каждую сторону) производятся учеты:

1. Учет на линии используется исключительно для определения валежа и зависших деревьев (как следствие ветровала, происходившего в лесных экосистемах), находящихся непосредственно над пересечением ходовой линии. Учитываются порода, класс разложения (Таблица 4), диаметр в месте пересечения ходовой линии и диаметр на высоте 1.3 м. У бурелома

необходимо измерить диаметр на высоте 1.3 м и у оставшегося на корню дерева.

2. Учет на полосе применяется для пней, имеющих диаметр более 8 см, а также сухостоя диаметром более 4 см на высоте 1.3 м. Для пней учитываются порода, класс разложения, диаметры основания и вершины и высота от шейки корня. Для сухостоя регистрируются порода, класс разложения, диаметр на высоте 1.3 м [2].

Таблица 5 - Классы разложения древесины [3]

Классы разложения	Показатели (по: Шорохова, Шорохов, 1999, с изменениями)
1	Древесина здоровая или первой стадии гнили (ксилолиза*). Встречаются участки с гнилью второй стадии, занимающие менее 10 % объема образца. Чаще всего это заболонная коррозия (белая гниль) или деструкция (бурая гниль). Стволы могут быть как в коре, так и без нее из-за стволовых насекомых. Плодовых тел дереворазрушающих грибов нет. Могут встречаться только эпифитные лишайники.
2	Древесина на 10–100 % поражена гнилью второй стадии; могут встречаться участки третьей стадии, занимающие 5–10 % объема образца. Остальная древесина здоровая. На стволах появляются плодовые тела дереворазрушающих грибов, мхи и лишайники.
3	Древесина третьей стадии гнили (мягкая гниль) занимает от 10 до 100 % объема, остальная древесина – второй стадии или здоровая. В древесине могут

	наблюдаться включения грибного мицелия, небольшие ямки и трещинки. Встречаются плодовые тела дереворазрушающих грибов. Проективное покрытие мхов, лишайников и высших растений может достигать 100%. Появляются всходы древесных растений.
4	Древесина третьей стадии гнили. При деструкции (бурой гнили) начинаются процессы гумификации. При пестрой гнили в ямочках образуются микропустоты, древесина окрашивается в бурый цвет. При белой гнили древесина расщепляется на отдельные волокна. Другие признаки как для третьего класса разложения.
5	Тип и границы гнилей трудно различимы. Продолжается процесс гумификации. Пятый класс разложения соответствует, примерно, третьей фазе гумификации древесины. Форма стволов сильно изменена. Плодовые тела дереворазрушающих грибов отсутствуют или очень старые. Растительность на стволах аналогична напочвенной растительности, с большим количеством всходов и подроста древесных растений.

Начальная стадия ксилолиза характеризуется наличием грибных пятен и полос. Пораженная древесина, хоть и удерживает нормальную твердость и структуру, но уже пронизана гифами. На этой стадии гриб поглощает содержимое клеток древесины, вследствие чего происходит изменение цвета, однако заметить это изменение без использования специальных приспособлений, например, микроскопа, возможным не предоставляется.

Следующая, вторая стадия ксилолиза охарактеризована “твердой” гнилью. Древесина обретает визуальные нарушения структуры, бурый цвет с изредка присутствующими выцветами, пятна и полосы, иногда – черные извилистые линии, а также трещинки, мелкие пустоты, пленочки грибницы и т.д. Твердость на этой стадии остается на довольно высоком уровне, но наблюдается значительное ухудшение плотности и механических свойств. При рассмотрении под микроскопом отчетливо видны интенсивные разрушения клеточных оболочек.

На третьей стадии древесина поражена мягкой гнилью. Эта стадия характеризуется наличием у зараженного дерева включений грибницы, трещин. Структура и твердость теряют свои качества, древесина становится трухлявой [15].

Особенностью ксилолиза является неравномерность его протекания, из-за чего на одном образце древесины могут встречаться все его стадии.

Для наших расчетов были взяты результаты сборов 2020-2021 гг., осуществленные на территории бассейна р. Вашка и прилежащих территорий. Расчет участия пулов углерода проводился на площадях лесных насаждений, в том числе уже организованных или планируемых ООПТ района.

Таблица 6 - Пулы углерода крупных древесных остатков на территории исследований, включая уже существующие ООПТ ( $C, t \cdot га^{-1}$  и  $Mt \cdot га^{-1}$ ) БГЦ по группам типов леса и возраста [5]

ГТЛ	Порода	Фракции	0-60	60-120	120-160	160-220	220-320	Всего
Лш	С	Стволы	6209.4	41461.5	12856.5	48643.6	10368.9	119540
		Корни	1753.8	11710.5	3475.9	13151.2	2138.6	32230
		Ветви	639.9	4272.8	1811.9	6855.6	1903.9	15484
		Кора	426.6	2848.5	999.6	3782.0	1163.4	9220
Бр	Е	Стволы		249.0				249
		Корни		40.0				40
		Ветви		29.5				30
		Кора		33.5				34

	С	Стволы	9811.9	26141.1	74445.2	97929.2	7274.0	215601
		Корни	2771.3	7383.4	20155.4	26513.5	1969.4	58793
		Ветви	1011.2	2693.9	9187.4	12085.6	897.7	25876
		Кора	674.1	1796.0	5711.5	7513.3	558.1	16253
Чр	Б	Стволы	742.0	12041.6				12784
		Корни	119.2	1934.4				2054
		Ветви	87.9	1426.6				1515
		Кора	99.8	1620.1				1720
	Е	Стволы	813.2	15119.3	41904.9	362152.8	14973.5	434964
		Корни	130.6	2428.8	1500.9	12971.0	2457.0	19488
		Ветви	96.3	1791.2	4144.8	35820.4	1827.6	43680
		Кора	109.4	2034.1	5713.5	49377.2	4903.1	62137
		Стволы				22390.2	0.0	22390
		Корни				818.5	0.0	818
		Ветви				2531.4	0.0	2531
		Кора				2812.5	0.0	2813
	С	Стволы	563.3	42108.0	63238.7	207638.2	16384.6	329933
		Корни	159.1	11893.1	6240.9	20491.2	2960.3	41745
		Ветви	58.1	4339.4	10242.8	33631.2	2635.3	50907
		Кора	38.7	2892.9	7553.5	24801.3	1610.4	36897
Бтр	Е	Стволы	214.1	1274.9	37525.9	580138.7	6638.7	625792
		Корни	34.4	204.8	1371.8	22187.4	253.9	24052
		Ветви	25.4	151.0	4242.7	63387.7	725.4	68532
		Кора	28.8	171.5	4713.8	76987.4	881.0	82783
		Стволы						0
		Корни						0
		Ветви						0
		Кора						0
	С	Стволы				2374.3		2374
		Корни				642.8		643
		Ветви				293.0		293
		Кора				20.2		20
Дл	Б	Стволы	79.7	4292.8	54.8	0.0	0.0	4427
		Корни	12.8	689.6	2.0	0.0	0.0	704
		Ветви	9.4	508.6	5.3	0.0	0.0	523
		Кора	10.7	577.5	7.6	0.0	0.0	596
	Е	Стволы	184.3	2395.4	24617.9	319165.4	1157.3	347520
		Корни	29.6	384.8	875.2	11347.3	41.1	12678
		Ветви	21.8	283.8	2543.8	32980.3	119.6	35949
		Кора	24.8	322.3	3259.6	42260.4	153.2	46020
		Стволы				35824.3		35824
		Корни				1309.6		1310
		Ветви				4050.3		4050
		Кора				4500.0		4500
	С	Стволы	0.0	5692.0	13231.3	62530.5	1079.2	82533
		Корни	0.0	1607.7	3582.3	16929.6	292.2	22412
		Ветви	0.0	586.6	1632.9	7717.0	133.2	10070

		Кора	0.0	391.1	0.0	4797.4	82.8	5271
Сф	Е	Стволы	0.0	0.0	0.0	4604.9	0.0	4605
		Корни	0.0	0.0	0.0	176.1	0.0	176
		Ветви	0.0	0.0	0.0	503.1	0.0	503
		Кора	0.0	0.0	0.0	611.1	0.0	611
	С	Стволы	635.4	412.7	1237.2	76572.1	791.8	79649
		Корни	179.5	116.6	329.3	20382.4	210.8	21218
		Ветви	65.5	42.5	190.1	11767.6	121.7	12187
		Кора	43.7	28.4	94.5	5846.5	60.5	6073
			27915	218423.	368701.	2401817.		310362
			.7	3	5	3	86768.1	6.0
Всего на ИТ, Мт/га			0.03	0.22	0.37	2.40	0.09	3.10

Используя непараметрический критерий Уилкоксона, был оценен вклад основных факторов варьирования, таких, как принадлежность пробной площади к определенной группе типов леса (ГТЛ), преобладающей породе и содержанию разного типа крупномерного детрита.

Таблица 7 - Вклад факторов и взаимного влияния факторов

	Оценка	Критерий Фишера	Эффект критерия Фишера	Ошибка критерия Фишера	p
Пересечение	1,000000		0		
ГТЛ	0,005642	282,0014	5	8,00000	0,000000
Порода	1,000000		0		
фракции	1,000000		0		
ГТЛ*Порода	0,000091	14,0245	25	31,22060	0,000000
ГТЛ*фракции	0,006680	7,7007	15	22,48588	0,000011
Порода*фракции	1,000000		0		
ГТЛ*Порода*фракции	0,000020	4,8894	75	42,53286	0,000000

Наибольшее значение имеет отнесение площадки к определенной группе типов леса. На обследованной территории это леса лишайниковые, брусничные, черничные, болотно-травяные, долгомошные или сфагновые.

Следующими по значимости являются комплексные факторы ГТЛ и преобладающей породы (основными породами выбраны сосна, ель, береза), ГТЛ и присутствующей фракции КДО, и в меньшей степени, влияния фактора, объединяющего все три параметра.

Рисунок 4.1 – Участие разных фракций детрита в сложении КДО насаждений  
возраста до 60 лет

Заметно, что в лесах возрастом до 60 лет наибольшую активность в сложении КДО принимают такие фракции детрита, как:

- 1) В сосняках - стволы (особенно четко наблюдается в сосняках-брусничниках);
- 2) В ельниках - кора, ветви, корни (четко прослеживается в болотно-травяных и долгомошных ельниках);
- 3) В березняках - аналогично с ельниками (наблюдается в березняках-долгомошниках).

Можно сделать вывод о высокой доле в сложении КДО коры, ветвей и корней, и невысокую степень участия в этом формировании стволовой части молодых древесных насаждений.

Рисунок 4.2 – Участие разных фракций детрита в сложении КДО насаждений  
возраста 60-120 лет

Наибольшее участие в сложении КДО в насаждениях возрастом 60-120 лет принимают:

1) В сосняках - стволы (четко выражено в лишайниковых лесах и черничниках);

2) В ельниках - ветви (хорошо заметно в бореальных лесах и черничниках);

3) В березняках - аналогично с ельниками (наблюдается в черничниках).

Заметно увеличение значимости стволовых частей древостоя по мере роста возраста насаждений, также наблюдается уменьшение значимости ветвей, корней и коры в формировании КДО.

#### Рисунок 4.3 – Участие разных фракций детрита в сложении КДО насаждений возраста 120-160 лет

Наибольшее участие в сложении КДО в насаждениях возрастом 120-160 лет принимают:

1) В сосняках - стволы (особенно четко можно заметить в брусничниках и черничниках);

2) В ельниках - стволы (в болотно-травяных, долгомошных и черничниках);

3) В березниках - кора и ветви (наблюдается в долгомошниках).

Исходя из графиков можно заметить снижение роли корней и ветвей в сложении КДО по сравнению с более молодыми древесными насаждениями.

#### Рисунок 4.4 – Участие разных фракций детрита в сложении КДО насаждений возраста 160-220 лет

Наибольшее участие в сложении КДО в насаждениях возрастом 160-220 лет принимают:

1) В сосняках - стволы;

- 2) В ельниках - стволы;
- 3) По березнякам статистических данных нет.

Наблюдается тотальное доминирование стволовой составляющей валежа над другими частями лесного детрита первичных лесов Двино-Мезенского ландшафтного района, увеличивается роль стволового детрита в формировании запасов КДО.

Рисунок 4.5 - Участие разных фракций детрита в сложении КДО  
насаждений возраста 220-320 лет

Наибольшее участие в сложении КДО в насаждениях возрастом 220-320 лет принимают:

- 1) Сосняки - стволы;
- 2) Ельники - стволы;
- 3) Березняки - нет данных (березняков такого возраста не существует).

Аналогично с предыдущим рисунком - наблюдается конкретное преобладание стволового детрита над другими древесными составляющими в формировании запасов КДО в лесах Двино-Мезенского ландшафтного района.

Обобщая данные можно заметить, что в категориях древесных остатков на стадии возраста леса:

- 1) до 60 лет, преобладают такие фракции, как ветви, корни и кора;
- 2) от 60 до 120 - стволы и ветви;
- 3) от 120 до 160 - стволы, ветви и кора;
- 4) от 160 до 220 - прослеживается тотальное доминирование стволов в структуре КДО;
- 5) от 220 до 320 - стволы.

Ярко выражено преобладание большинства фракций КДО в древостоях возрастом до 60 лет, что можно объяснить вырубками, так как кора, ветви и корни зачастую являются порубочными остатками со времен вырубки, на

котором данный молодой древостой формируется. В последующих возрастных группах роль основной составляющей фракции крупномерных остатков переходит к стволам.

В первую очередь необходимо отметить очевидную положительную связь между увеличением возраста насаждений и запасом крупных древесных остатков.

Тенденция к стабилизации наблюдается только с группы спелых насаждений. Это обуславливается ростом объемов опада - по мере увеличения возраста насаждений растет и запас детрита. Запасы валежа при этом характеризуются ярко выраженной линейностью. Также отчетливо выделены отличия в фракционном распределении запасов детрита. В молодых (0-60 лет) и средневозрастных (60-120 лет) насаждениях мертвая древесина характеризуется сухостоем и валежом в соотношении, близкорасположенном к 1:1, в приспевающих насаждениях (120-160 лет), с ощутимой разницей (около 30%) в запасе детрита выделяется сухостой. В спелых насаждениях (160-220 лет) наблюдается выравнивание в отношении сухостоя к валежу, а в перестойных (220-320 лет) наблюдается доминанция валежа [11].

В средневозрастных насаждениях из-за конкуренции в более раннем возрасте, наблюдается переход древесных насаждений в опад, чем обуславливается рост числа стволов детрита.

По мере увеличения возраста спадает интенсивность конкуренции, происходит стабилизация пространственной структуры насаждений и, как следствие, понижается количество стволов детрита. Однако, иногда наблюдается и рост показателя. На это оказывает влияние усиленный опад перестойных деревьев, который влечет за собой увеличение опада уже у более молодых насаждений.

Важно отметить разницу в КДО разных типов леса: в сосняках всех разновидностей преобладают в составе КДО ствольные части древостоя, в ельниках аналогично, за исключением ельников-брусничников - там

наблюдается доминация фракции ветвей, в березняках-черничниках основной КДО являются стволы, а в долгомошных - кора, ветви и корни.

Исходя из этой разницы, можно утверждать, что именно стволовые остатки являются главным источником крупных древесных остатках во всех группах леса на территории Двино-Мезенского ландшафтного района.

С помощью факторного анализа (оценка тесноты связи между кластерами мерой Эвклидова расстояния) была проведена оценка сходства возрастных категорий лесов. Результат представлен на графике (рисунок 4.6).

#### Рисунок 4.6 – Сходство структуры КДО по возрастным группам лесов

Отдельно отстоит кластер лесов возрастом 160-220 лет. Эта возрастная категория вносит наибольший вклад в депонирование углерода в экосистеме, так как содержит наибольший объем мертвой древесины. Возможно, определенную роль играет и то, что это наиболее широко представленная в регионе группа лесов по возрасту.

С другой стороны, есть отдельно отстоящий кластер возраста 0-60 лет. Структура древесных остатков там совершенно другая, их заметно меньше в лесах этого возраста, и таких лесов немного на обследованной территории – в основном, это площади недавних вырубок, а на междуречье они стали производиться не так давно - после определенного перерыва, и не занимают больших пространств.

Остальные группы возрастов леса составляют довольно компактный и тесно связанный кластер, не сильно различающийся по структуре и объему КДО.

Стоит обратить внимание на эту зависимость леса возраста 160-220 лет являются наиболее задействованными («спелыми») лесами в лесохозяйственной промышленности – наиболее пригодные к рубке. Если

производить слишком интенсивное использование этой части запаса лесного фонда, то эмиссия углерода от лесных земель может резко возрасти.

## Заключение

Весомое влияние на накопление углерода в лесных экосистемах имеют: продуцирование органики древостоями, нижними ярусами растительности, растительностью болот, аккумуляция опада в лесной подстилке, накопление сухостоя, возобновление леса.

Вынос аккумулированного в детрите углерода осуществляется рубками, пожарами, утилизацией порубочных остатков, минерализацией лесной подстилки и дыханием растительности [3].

Произведены и получены оценки пулов углерода в биогеоценозах разнотипных лесных экосистем, разновозрастной структуры и динамических фаз. Выявлено, что в первичных лесах пул углерода фитомассы древостоя зависит от симбиозных факторов: условий произрастания, возрастного состава пород и динамической фазы древостоя.

Наибольшие величины пула углерода крупных древесных остатков наблюдались в старовозрастных ельниках, обеспеченных обширным содержанием ветровалов из-за интенсивности давних нарушений. В среднем по междуречью, углеродный пул в КДО тождественен пулу углерода живой фитомассы древостоя.

Наибольшие количества растущей фитомассы принадлежат спелым лесам (120-160 лет), которые относятся в основном к мезотрофным дренированным группам лесных экосистем.

Разнообразие пулов углерода лесных биогеоценозов для первичных лесов территории объясняется оценкой типа леса и возрастной группой, а также частотой нарушений, связанной с условиями произрастания и сукцессионным состоянием БГЦ.

Наблюдается нехватка в экспериментальных данных, район нуждается в дальнейшем изучении, необходим дополнительный сбор информации по скудно представленным возрастным группам и типам леса, существует необходимость в снятии данных по антропогенно-трансформированным

участкам, таким как вырубки, также необходимы дополнительные данные по гарям и ветровалам, лесам с лиственницей и пихтой. Данные факторы делают невозможными как экстраполяцию полученных данных на соседние массивы и эксплуатационные леса, так и на оценку бюджетов углерода.

Обобщая данные можно заметить, что в категориях древесных остатков на стадии возраста леса:

1. до 60 лет, преобладают такие фракции, как ветви, корни и кора;
2. от 60 до 120 - стволы и ветви;
3. от 120 до 160 - стволы, ветви и кора;
4. от 160 до 220 - прослеживается тотальная доминация стволов;
5. от 220 до 320 - стволы.

Ярко выражено преобладание большинства фракций КДО в древостоях возрастом до 60 лет, что можно объяснить рубками, так как кора, ветви и корни зачастую являются порубочными остатками со времен рубки, на котором данный молодой древостой формируется. В последующих возрастных группах роль основной составляющей фракции крупномерных остатков переходит к стволам.

Важно отметить разницу в КДО разных типов леса: в сосняках всех разновидностей преобладают в составе КДО ствольные части древостоя, в ельниках аналогично, за исключением ельников-брусничников - там наблюдается доминирование фракции ветвей, в березняках-черничниках основной КДО являются стволы, а в долгомошниках - кора, ветви и корни.

Можно утверждать, что именно ствольные остатки являются главным источником крупных древесных остатков во всех группах леса на территории Двино-Мезенского ландшафтного района.

По возрастным категориям лесов в отношении запасов крупномерных древесных остатков можно выделить три кластера – молодняки (возрастом 0-60 лет), спелые леса (160-220 лет), и кластер остальных возрастных групп. Наибольшие запасы КДО, а, следовательно, и связанный углерод, содержится как раз в «спелых» лесах – категории, наиболее привлекательной в

экономическом плане для рубки. Стоит очень аккуратно планировать объемы будущих лесохозяйственных мероприятий, чтобы экономическая прибыль не отразилась негативно на экологических характеристиках территории Двино-Мезенского междуречья в отношении избыточной эмиссии углерода.

Исходя из вышесказанного можно сформулировать рекомендации по уменьшению эмиссии углерода в первичных лесах рассматриваемого региона:

- 1) Сохранение малонарушенных лесов как ценного природного объекта необходимо даже вне всяких климатических соображений. Если допустить их рубки, то в краткосрочном плане это приведет к большой эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу, в то время как удовлетворить нужды в древесине можно иначе, за счет интенсификации лесного хозяйства;
- 2) Борьба с пожарами и гибелью лесов от других факторов. Пожары занимают первое место в списке причин непроизводительных потерь лесов, а ежегодно проходимые ими площади имеют тенденцию к росту;
- 3) Уход от экстенсивного лесного хозяйства. Поскольку потребность в древесине в обозримой перспективе не исчезнет, наиболее целесообразным путем ее получения является ведение интенсивного лесного хозяйства в уже освоенных, вторичных лесах. Это позволит отказаться от экстенсивного пути лесопользования — освоения все новых, все менее продуктивных и удаленных от инфраструктуры лесов, сохранив малонарушенные лесные территории;
- 4) Оптимизация лесовосстановления. В настоящее время практика лесовосстановления далека от оптимальной, значительная часть созданных лесных культур погибает, лесовосстановление часто происходит через смену пород, что снижает продуктивность лесов, а значит, и скорость накопления углерода. Кроме того, целесообразно производить восстановление лесов теми породами и в таком их соотношении, которые свойственны для естественных лесов данной местности. Это позволит создавать леса, более устойчивые к неблагоприятным факторам, в том числе и к климатическим изменениям;

- 5) Использование лучших технологий и методов заготовки леса. Важным фактором эмиссии CO<sub>2</sub> при лесопользовании является нарушение почвы с последующей ее деградацией и вымыванием запасенного органического вещества. Необходимо внедрять методы заготовки древесины и создания лесной инфраструктуры, минимально повреждающие почву, сохраняющие на лесосеке лесную среду за счет оставления части исходного древостоя, отказа от сжигания порубочных остатков и повреждения имеющейся мертвой древесины;
- 6) Борьба с незаконными рубками. С точки зрения баланса углерода большой разницы между законными и незаконными рубками нет, но незаконные рубки подрывают экономическую основу ведения лесного хозяйства, так как не происходит соответствующих отчислений в бюджет. Это сокращает объем средств, который может быть потрачен на восстановление, охрану и защиту леса.

## Список литературы:

- 1) Артюховский А. К., Кунцевалов М. А., Успенский В. В. Коэффициенты экологической эффективности леса // Известия ВУЗов: Лесной журнал. 2000. № 2. С. 36–40.
- 2) Багинский В. Ф., Неверов А. В., Лапицкая О. В. Спелость леса в системе устойчивого природопользования // Труды БГТУ. Сер. VII: Экономика и управление. 2002. Вып. X. С. 207–216.
- 3) Бобкова К.С., Галенко Э.П. / Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. 278 с
- 4) Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- 5) Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
- 6) Богатырев Л.Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1990. № 3. С. 118–127.
- 7) Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Отв. ред. Заварзин Г.А. М.: Наука, 2007. 315 с.
- 8) Кузнецов М.А. Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаежном чернично-сфагновом ельнике // Лесоведение. 2010. № 6. С. 54–60.
- 9) Козубова Г.М., Таскаева А.И. / Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М.: ИПЦ ДИК., 2000. 512 с.
- 10) Плешиков Ф.И., Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф. и др. / Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: СО РАН, 2002. 356 с.
- 11) Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 1. С.64–69.

- 12) Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Содержание органического углерода в болотноподзолистых почвах хвойных лесов средней тайги // Лесоведение. 2010. № 6. С. 65–70.
- 13) Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
- 14) Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 363 с.
- 15) Стороженко В.Г. Датировка разложения валежа ели // Экология. 1990. № 6. С. 66–69.
- 16) Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Кузмичев В.В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение. 2011. № 1. С. 3–12.
- 17) Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложение. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
- 18) Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 569 с.
- 19) Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1975. Т. 1. С. 9–189.
- 20) Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В. Углеродные пулы фитомассы, почв и депонирование углерода в еловых лесах России // Хвойные бореальной зоны. 2004. № 2. С. 21–30.
- 21) Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И. и др. / Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (аналитический обзор). М.: Центр экологической политики России, 1996. 156 с.

