


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


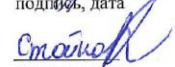

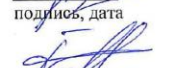
Институт экономики, управления и природопользования
Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 С.В. Верховец
подпись
« 21 » 06 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

05.03.06 - экология и природопользование
05.03.06.02 – Природопользование

Трансформация подстилки в экосистемах разных лесообразователей
(экспериментальное исследование)

Руководитель	 подпись, дата	<u>Э.Ф. Ведрова</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата	<u>Е.В. Стойко</u> инициалы, фамилия
Консультант	 подпись, дата	<u>И.Н. Безкоровайная</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	<u>И.Г. Гетте</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Органическое вещество почвы: состав, структура и пути трансформации.....	5
1.1 Легкоминерализуемая фракция органического вещества почвы и основные источники ее формирования.....	8
1.1.1 Растительный опад.....	8
1.1.2 Корневой опад.....	9
1.1.3 Микробная биомасса.....	10
1.1.4 Лесная подстилка.....	11
1.2 Трансформация компонентов фракции ЛМОВ.....	13
1.2.1 Факторы, влияющие на трансформацию.....	13
1.2.2 Минерализация и гумификация растительного вещества.....	14
1.2.3 Формирование подвижного органического вещества.....	18
1.3 Водорастворимые продукты разложения подстилки и их роль в почвообразовании.....	20
1.4 Значение легкоминерализуемого органического вещества почвы.....	20
2. Объект и методы исследования.....	22
2.1 Объект исследования.....	22
2.2 Методы исследования.....	23
3. Экологические условия района исследования.....	26
3.1 Характеристика района исследования.....	26
4. Запас и фракционный состав подстилки и опада в 40-летних экосистемах кедра, сосны, ели, лиственницы, осины и березы.....	30
4.1 Интенсивность отмирания фитомассы древостоев и фракционный состав опада.....	30
4.2 Запас подстилки и ее состав в экосистемах разных лесообразователей.....	31
4.3 Соотношение углерода и азота в опаде и подстилке.....	33
5. Трансформация подстилки в полевом эксперименте (разложение подстилки на лизиметрах).....	34
5.1 Изменение запаса и стратиграфии подстилки в процессе разложения.....	35
5.2 Интенсивность разложения массы подстилка + опад на лизиметрах.....	36
5.2.1 Вынос в почву водорастворимых органических продуктов разложения подстилки.....	38
5.2.2 Состав подвижного органического вещества подгоризонтов подстилки.....	39
5.2.3. Изменение содержания подвижного углерода при разложении подстилки.....	41
5.2.4. Соотношение потоков минерализации и гумификации при разложении органического вещества опада + подстилки.....	44
Заключение.....	46
Список использованных источников.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Лесная подстилка выполняет важнейшую роль в обмене веществом и энергией между элементами системы древостой ↔ почва. Процессы её трансформации в значительной мере определяют характер почвообразовательных процессов и плодородия почв. Являясь результатом сложного взаимодействия живого и косного вещества, лесная подстилка представляет собой особый горизонт профиля почв в лесных экосистемах. Отмирание растительных органов (опад, отпад) и их деструкция обуславливают формирование периодически обновляющегося органического вещества (ОВ), обладающего относительно постоянной величиной [1].

Верхняя часть лесной подстилки (L) ежегодно подновляется за счет опадающих фракций фитомассы, нижняя – последовательно трансформируется в подгоризонты ферментации (F) и гумификации (H) [2, 3, 4]. Аккумуляция органического материала и содержащихся в нем зольных элементов и азота формирует ближайший резерв элементов питания для растительного полога и энергетических ресурсов, «под влиянием которых изменяются как отдельные компоненты биогеоценозов, так и биогеоценозы в целом. Эти изменения происходят в результате постепенного накопления почвами новых признаков и свойств» [5].

Разложение подстилки осуществляется в процессе минерализации органического вещества до конечных продуктов окисления (O_2 , CO_2 , H_2O и др.) и гумификации, приводящей к синтезу гумусовых веществ. Интенсивность процесса разложения характеризует изменение массы органического вещества на единице площади за единицу времени ($кг,г/(га,м^2*год)$). массу высвобождающегося вещества на единице площади, Вычленив участие каждого из этих звеньев процесса разложения возможно, используя изотопно-индикаторный метод с тотально-мечеными соединениями. Исключительно важное значение имеет оценка интенсивности гумификации лесной подстилки. Этот показатель, характеризуя количество новообразованного гумуса за

единицу времени на единице площади, служит единственной приходной статьей углеродного баланса почвы, по которой можно оценить годовую аккумуляцию гумуса почвы при разложении подстилки. Включение продуктов разложения подстилки в гумусовые вещества зависит от ее количества и состава. Доля углерода органических остатков подстилки в гумусовых веществах почвы при полном их разложении варьирует от 0 (полная минерализация) до 50% и более [6].

Целью дипломной работы явился анализ соотношения процессов минерализации и гумификации при разложении подстилки в 40-летних насаждениях основных эдификаторов лесных экосистем Сибири: лиственница, сосна, кедр, ель, осина и береза.

В задачи исследования входило:

1. Определить интенсивность и фракционный состав опада как основного источника формирования лесной подстилки;
2. Определить запас подстилки, ее состав и интенсивность разложения в 40-летних экосистемах;
3. Для определения интенсивности разложения, поступления в почву водорастворимых продуктов разложения подстилки, высвобождения диоксида углерода и новообразования гумусовых веществ в насаждении каждого лесообразователя заложить эксперимент с разложением массы подстилки, равновеликой запасу в исследуемом насаждении, на лизиметрах.
4. Провести расчет интенсивности процессов минерализации и новообразования гумусовых веществ при разложении подстилки в полевом эксперименте.

1. Органическое вещество почвы, состав, структура и пути трансформации

Органическое вещество почвы представляет собой важнейшее звено обмена веществ и энергии между живой и неживой природой. Это комплекс органических соединений, входящих в состав почвы. Представлены в основном гумусом (на 80–90%); неспецифическими для почвы углеводами; жирами, белками, а также остатками растений, животных. Основным источником органического вещества в почве являются остатки зеленых растений. В условиях хвойного леса в почву ежегодно поступает в виде опада и отмерших корней около 4–6 т сухого вещества на 1 га.

Органическое вещество почвы состоит из органических остатков (различной степени разложения) и гумуса, представляющего собой массу специфических органических веществ темного цвета, равномерно пропитывающих минеральную часть верхнего слоя почвы. Основным источником органического вещества почвы - остатки отмерших организмов - растений и животных. Количество органических остатков, поступающих в почву и на ее поверхность, определяется не только типом растительности, ее возрастом (имеется в виду древесная многолетняя), но и условиями произрастания. В таежно-лесной зоне, в еловом лесу 60-80-летнего возраста средний годовой опад составляет 4—7 т на 1 га.

Примерно такое же количество опада оставляет береза. Скорость разложения органических остатков зависит от их состава. Быстро разлагаются остатки травянистых растений, особенно бобовых, богатых белками; медленному разложению подвергается лесная подстилка, содержащая лигнин, смолы, дубильные вещества.

Разложение органических остатков происходит под воздействием воды и воздуха, животных и микроорганизмов, обитающих в почве. Основная роль в этом процессе принадлежит микроорганизмам. Аэробный процесс разложения органических остатков при благоприятных условиях протекает интенсивно и

приводит к их полной минерализации. При этом углерод из различных соединений окисляется до CO_2 , водород — до H_2O , азот — до азотистой и азотной кислот, фосфор — до фосфорной кислоты, сера — серной кислоты. Все эти кислоты соединяются с основаниями, имеющимися в почве и золе растений, образуют различные минеральные соли.

Анаэробный процесс разложения органических остатков, возникающий главным образом при избыточном увлажнении почвы, протекает медленно и называется процессом гниения. Этот процесс характеризуется неполным разрушением органических остатков. Если продукты жизнедеятельности анаэробных бактерий из среды не удаляются, процесс разложения замедляется или прекращается, неразложившиеся остатки консервируются. Кроме того, под влиянием анаэробных процессов ряд химических соединений в почве восстанавливается. Например, окисные формы железа переходят в закисные. Образование гумусовых веществ. Помимо процессов минерализации и консервации органических остатков, в почве протекает процесс гумификации — образования гумусовых веществ, новых органических соединений специфической природы. По гипотезе И. В. Тюрина и Л. Н. Александровой, основу процесса гумификации составляет реакция медленного биохимического окисления различных высокомолекулярных веществ, имеющих циклическое строение. К числу подобных веществ следует отнести белки растительного и животного происхождения, лигнин, дубильные вещества. Реакция окисления, развивающаяся при разложении растительных остатков и происходящая под влиянием воздуха, ферментов-оксидаз и минеральных катализаторов, сопровождается соединением (полимеризацией) и уплотнением (конденсацией) промежуточных высокомолекулярных продуктов, что приводит к образованию новых высокомолекулярных гумусовых веществ, устойчивых к разложению. Гумусовые вещества (гумус) представляют собой комплекс высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений. Содержание гумуса в верхнем слое почв колеблется от 1—2 до 10—12% и более, постепенно или резко уменьшаясь с глубиной. Из гумусовых веществ выделяют две

основные группы кислот (гумусовые кислоты): фульвокислоты и гуминовые кислоты. Соединения этих кислот содержатся в гумусе всех типов почв, но в различных количествах соотношениях. В элементарный химический состав фульвокислот входят углерод (40—52%), кислород (40—48%), водород (4—6%), азот (2—6%). Фульвокислоты хорошо растворимы в воде, минеральных кислотах и в слабых растворах щелочей.

Гуминовые кислоты в отличие от фульвокислот имеют черную окраску и содержат больше углерода (52—63%). Они слабо растворяются в воде, но растворимы в слабых растворах щелочей. Кислотная их природа обусловлена теми же причинами, что и у фульвокислот.

Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам в составе гумуса этих почв всегда меньше 1. В черноземах в составе гумуса преобладают гуминовые кислоты и отношение гк : фк близко к 2. Таким образом, почвы различаются не только по количеству гумуса, но и по качественному его составу. Условия образования гумуса. В природных условиях отдельных почвенно-климатических зон характер и скорость разложения органических остатков и процесс гумификации неодинаковы, они зависят от ряда взаимосвязанных условий почвообразования.

Главные из этих условий: водно-воздушный и тепловой режимы почв, состав растительных остатков и характер их поступления, видовой состав микроорганизмов и интенсивность их жизнедеятельности, механический состав и физико-химические свойства почвы. Процесс гумификации интенсивно протекает в тех почвах, в которых складываются благоприятные условия для роста растений и микроорганизмов.

В таежно-лесной зоне в составе органических остатков немалую долю занимают остатки деревянистых растений, при разложении которых образуется большое количество фульвокислот. Существенное влияние на гумификацию оказывает механический состав почвы. На увеличение содержания гумуса в почве оказывает влияние химический состав почвообразующих пород и

содержание оснований Ca и Mg в почве, которые способствуют закреплению гуминовых кислот.

При разложении органического вещества почвы увеличивается содержание CO₂ в почвенном воздухе и приземных слоях атмосферы, что способствует увеличению фотосинтеза зеленых растений. С гумусом почвы связана ее поглотительная способность. Огромная роль принадлежит гумусовым веществам в почвообразовательных процессах и в формировании профиля почвы [7].

1.1 Легкоминерализуемая фракция органического вещества почвы и основные источники ее формирования

Потенциальным источником почвенного органического вещества можно считать все компоненты биоценоза, которые рано или поздно попадают на поверхность почвы или внутрь почвенного профиля и участвуют в процессе почвообразования. К ним относятся растения, животные, микроорганизмы и продукты их метаболизма [8, 9, 10, 11].

1.1.1 Растительный опад

Ежегодный опад органических остатков древесных пород на поверхность почв представляет одно из главнейших и отличительных свойств лесных биогеоценозов. Их долголетие и уровень производительности находятся в определенной зависимости от количества ежегодно поступающих на поверхность почвы отмирающих органических остатков, содержащих необходимые элементы зольного и азотного питания древесных пород.

С опадом возвращается в почву значительная часть потребленных растениями минеральных веществ и азота. Опад представляет собой энергетический материал, способствующий развитию почвообразования и других биогеоценологических процессов.

Образование опада – процесс динамичный во времени и дифференцированный в пространстве лесного биогеоценоза – предопределяет потенциальную устойчивость органических остатков, включающихся в биологический круговорот и участвующих в образовании органического вещества почв. Динамика поступления опада сопровождается не только количественным, но и качественным изменением поступающего вещества. Поступление опада в древостоях хвойных пород более растянуто по сезонам года [2].

Количество опада, ежегодно поступающего на почву, зависит в первую очередь от состава и возраста древесного яруса, дающего его основную массу, от степени развитости остальных ярусов растительности, от климатических условий, в которых происходит развитие лесных биогеоценозов, и ряда других причин. С увеличением возраста древостоя в лесных биогеоценозах количество опада колеблется в небольших пределах, поскольку компенсировано изменяются полнота насаждений и запасы хвои или листвы деревьев. Следовательно, количество годового опада отражает определенную интенсивность взаимодействий всех компонентов лесных биогеоценозов.

С древесным опадом на поверхность почвы ежегодно поступает около половины затрат углерода на продукцию. В первые же месяцы после поступления опада в почву он теряет до 20% своей массы в результате выщелачивания зольных и органических веществ. В CO_2 переходит до 90% органического вещества опада [2, 4, 9, 12, 14].

1.1.2 Корневой опад

В наземной экосистеме растительное вещество сконцентрировано в двух сферах- наземной (фитомасса, ветошь, подстилка) и в подземной (живые и мертвые подземные органы растений). И в той и в другой создается чистая продукция, от величины которой зависит и количество органического вещества в почве. В лиственном лесу продукция тонких корней несколько выше, чем

продукция листьев, а в хвойном – сосняке – на 20% меньше, чем продукция хвои [14, 15].

Хотя в биомассе корней содержится меньшая часть запасов органического вещества, эта составляющая и ее распад оказывают существенное влияние на питание леса и запаса ОВ почвы [9, 16, 17].

Корневые остатки минерализуются медленнее наземного опада вследствие значительного содержания одревесневших тканей. В то же время включение продуктов разложения корневого опада в гумусовые вещества значительно выше, чем наземного, что связано с характером локализации опада и дальнейшими условиями его разложения.

Источниками органических субстратов в толще почвы, кроме непосредственно отмирающей корневой массы, могут быть выделения из корня связанного углерода и, как следствие этого процесса, микробное сообщество на корне растения, а также корневые чехлики, чешуйки корковой ткани, фрагменты тканей и клетки, отделяющиеся от корней [2, 17, 18, 19, 20, 21].

1.1.3 Микробная биомасса

Помимо опада и мертвого корневого материала важнейшим источником ОВ почвы является микробная биомасса. К другим функциям микроорганизмов относят: минерализацию органических остатков растительного и животного происхождения; вовлечение химических элементов в круговорот из литосферы; фиксацию азота; участие в формировании структурных агрегатов [11, 17, 22, 23].

Деятельность почвенных микроорганизмов непосредственно обуславливает почвенное плодородие, обеспечивая накопление органического вещества и элементов питания растений. Но главнейшая роль почвенных микроорганизмов состоит в их активном участии в биологическом круговороте углерода. Благодаря участию в этом цикле микроорганизмов почвы, как

основного агента деструктивного звена, происходит замыкание круговорота и совершается циклическое превращение веществ и энергии в биосфере.

Кроме этого, сообщество микроорганизмов само является существенным резервуаром питательных веществ. В микробной биомассе содержится от 0,2% до 5% общего почвенного углерода, при среднем значении примерно 2,5% [17]. В составе легкоминерализуемого ОВ на микробную биомассу приходится от 4 до 8-12% запаса углерода. Хотя микробная биомасса и составляет небольшую часть общих запасов органического углерода почвы, важнее то, что С микробной биомассы подвержен постоянному обороту, в результате которого происходит перераспределение атомов С в новую микробную биомассу, CO_2 и гумусовые вещества почвы [22].

1.1.4 Лесная подстилка

Лесная подстилка – напочвенное образование, формирующееся под пологом леса из продуктов опада надземных ярусов лесного биоценоза. Лесная подстилка - это не только продукт леса и его компонентов, но и фактор, влияющий на них и на лес в целом.

От мощности лесной подстилки, ее состава, влажности, особенностей разложения и гумификации зависит возобновление леса. Она влияет на рост и продуктивность древостоя, а также на др. компоненты лесного биогеоценоза: физические, химические и биологические свойства и водный режим почвы, предохраняет от эрозии почв. Лесная подстилка обеспечивает жизнедеятельность некоторых видов почвенной фауны, многочисленных микроорганизмов. Лесная подстилка - один из основных источников углекислоты, азотного питания, важное звено в биологическом круговороте веществ и энергии [9, 24, 25].

Отмирание растительных остатков (опад, отпад) и их деструкция обуславливают формирование периодически обновляющегося органического вещества, обладающего относительно постоянной величиной. Таким образом,

лесной опад в процессе жизнедеятельности животных и микроорганизмов превращается в подстилку [1, 13].

Природа подстилки, ее накопление, формирование, последующие превращения зависят от количества опада, его состава, времени поступления; климатических, почвенных и биотических факторов. Лесная подстилка накапливается постепенно, по мере увеличения опада она достигает большой мощности. В сформировавшейся лесной подстилке различают несколько слоев: верхний - свежий опад, не затронутый процессами разложения и гумификации; средний - состоит из полуразложившихся остатков; нижний - аморфная гумифицированная масса, органические вещества темно-серого, бурого или черного цвета. При активной деятельности роющей фауны нижний слой лесной подстилки может быть смешан с минеральными частицами нижележащей почвы. В верхнем слое идет образование CO_2 , в среднем - накопление азота, в нижнем - остаточных продуктов.

Запас лесной подстилки зависит от географических условий, видового состава лесообразующих пород, возраста и ярусности насаждения, сомкнутости лесного полога, развития живого напочвенного покрова. Наибольшие запасы накапливаются в таежной зоне. Хвоя ели, пихты, иногда листья осины замедляют разложение подстилки и затрудняют образование гумуса. Так, хвоинки ели плотно прилегают друг к другу и образуют плотный слой с затрудненной аэрацией. В грубой подстилке еловых лесов процессы нитрификации отсутствуют или протекают крайне медленно. В опаде из хвои сосны остаются промежутки для воздуха, что ускоряет процесс разложения. Разложение хвойной подстилки (за исключением лиственницы) затрудняется смолистостью хвои, наличием воскового налета. Березовые листья, скручивающиеся при опадании, создают аэробные условия, благоприятствующие разложению опада [26].

1.2 Трансформация компонентов фракции ЛМОВ

Растительные остатки, которые слабо разложились и не затронулись процессом гумификации, составляют лабильную форму легкоминерализуемой фракции. Процесс разложения происходит благодаря сложной деятельности комплекса редуцентов (грибы, бактерии) [27].

Трансформация лабильного органического вещества происходит по двум путям – синтез и распад.

Синтез – процесс новообразования гумусовых соединений в результате окисления и полимеризации продуктов разложения.

Распад – процесс трансформации органических остатков на поверхности и внутри минерального профиля. Этот процесс ведет к прекращению существования растительных и животных остатка, как целого, к полному или частичному прекращению сложноорганизованных молекул ОВ в более простые. Может и до полной минерализации [11, 19].

1.2.1 Факторы, влияющие на трансформацию

Деструкция и синтез ОВ является важными функциональными характеристиками природных самоорганизующихся систем. Они определяют такие фундаментальные свойства экосистем, как устойчивость, саморегуляция и продуктивность [9, 11, 28, 29]. Любые органические остатки, поступающие в почву, подвергаются в ней процессам разложения, которые носят биокаталитический характер и протекают при участии ферментов мезофауны и микроорганизмов [9, 28].

Почвенные ферменты активно участвуют в трансформации органических остатков, как в процессе жизни, так и после отмирания создавших их организмов. Действие экологических факторов на ферментативную активность зависит от физико-географических условий формирования почв. Поступив в почву, часть ферментов разрушается, часть связывается с почвенными

минералами и ОВ. Ферментативная активность лесных почв наиболее высока в подстилке и максимально проявляется в ферментативном слое [8, 9, 11, 17, 31].

Почвенные беспозвоночные измельчают растительные остатки, увеличивая площадь их поверхности, способствуя дельнейшему разрушению их микроорганизмами. Представители мезофауны способствуют миграции растительных остатков по почвенному профилю, они разлагают почти все химические компоненты растительных остатков [9, 30].

Также на скорость и интенсивность разложения влияют такие факторы, как:

- 1) Соотношение C:N (чем уже соотношение, тем сильнее выражены процессы разложения и минерализации) [9, 11, 32, 33].
- 2) Химический состав и анатомическое строение растительных остатков [9, 10, 11, 31, 33].
- 3) Гидротермический режим и степень аэриозиса (оптимальная температура и влажность для этого типа почвы, переувлажнение замедляет процессы) [9, 33, 34, 35].
- 4) Гранулометрический и химический состав почвы (тяжелые почвы с низким содержанием гумуса, обогащенные вторичными минералами снижают интенсивность разложения органических остатков) [9].
- 5) Реакция среды (нейтральная наиболее благоприятна для деятельности микроорганизмов).

1.2.2 Минерализация и гумификация растительного вещества

Компонентами ЛОВ являются растительные и животные остатки, микробная биомасса, корневые выделения; ПОВ – органические продукты растительных остатков и гумуса, легко переходящие в растворимую форму. Стабильный гумус – устойчивое к разложению органическое вещество.

Совокупность процессов трансформации органических веществ в почвах составляют процесс гумусообразования, который определяет формирование и

эволюцию гумусового профиля почв. К процессам трансформации органических веществ относят: поступление в почву растительных остатков, их разложение, минерализацию и гумификацию, минерализацию гумусовых веществ, взаимодействие органических веществ с минеральной частью почвы, миграцию и аккумуляцию органических и органо-минеральных соединений.

Любые органические остатки, попадающие в почву или находящиеся на ее поверхности, разлагаются под воздействием микроорганизмов и почвенной фауны, для которых они служат строительным и энергетическим материалом. Процесс разложения органических остатков складывается из двух звеньев – минерализации и гумификации.

Минерализация – распад органических остатков до конечных продуктов – воды, диоксида углерода и простых солей. В результате минерализации происходит сравнительно быстрый переход различных элементов (азот, фосфор, сера, кальций, магний, калий, железо и др.), закрепленных в органических остатках, в минеральные формы и потребление их живыми организмами следующих поколений.

Гумификация – совокупность биохимических и физико-химических процессов трансформации продуктов разложения органических остатков в гумусовые кислоты почвы. Итог гумификации – закрепление органического вещества в почве в форме новых продуктов, устойчивых к микробиологическому разложению, служащих аккумуляторами огромных запасов энергии и элементов питания.

Наиболее интенсивно распад органических остатков до конечных продуктов идет при оптимальной влажности почвы (60 - 80% от полной влагоемкости) и температуре (20-25⁰С). При увеличении влажности и температуры или их снижении уменьшается скорость разложения остатков. При постоянном и резком недостатке влаги и высоких температурах в почву поступает мало растительных остатков, разложение их замедлено и осуществляется в виде процессов «тления». Темп разложения растительных остатков в значительной степени зависят от типа биогеоценоза и типа почвы.

Большое влияние на интенсивность разложения опада оказывает и химический состав растительных остатков. При высоком содержании в составе растительных остатков соединений, устойчивых к микробиологическому воздействию, они накапливаются на поверхности почвы в количествах, значительно превышающих масштабы ежегодного опада (почвы тундры и таежно-лесной зоны). По этой причине древесина, хвоя и другие компоненты растительного опада, содержащие много лигнина, смол, дубильных веществ, но мало азотистых белковых соединений, разлагаются медленно. Надземная масса трав, особенно бобовых, разлагается быстрее, а корневые остатки минерализуются с меньшей скоростью вследствие увеличения в них доли лигнино-целлюлозного компонента. Важно учитывать особенности климатических условий, которые определяют характер функционирования почвенной фауны и микроорганизмов. Значительное влияние на скорость минерализации оказывают минералогический и гранулометрический составы почвы. При оптимальных условиях разложения в почвах тяжелого гранулометрического состава, богатых высокодисперсными глинистыми минералами, минерализационные процессы тормозятся. Это обусловлено высокими величинами свободной поверхности минералов, благодаря чему на них сорбируются промежуточные продукты разложения и новообразованные гумусовые вещества, что предохраняет их дальнейшей минерализации. В почвах с преобладанием первичных минералов, сорбция практически не выражена, поэтому процесс минерализации протекает очень активно. Это свойственно почвам легкого гранулометрического состава, в связи с чем они всегда содержат мало гумуса. В почвах с кислой реакцией среды процессы разложения остатков тормозятся вследствие угнетения бактериальной микрофлоры. При наличии в почве поливалентных металлов (железо, марганец, алюминий), образуются комплексные органо-минеральные соединения, устойчивые к действию микроорганизмов. Одновалентные катионы и щелочная реакция среды способствуют образованию подвижных водорастворимых

органических соединений, что благоприятствует их последующей минерализации.

Таким образом, свойства почвы прямо или косвенно влияют на скорость разложения органических остатков. Прямое влияние выражается в степени развития процессов взаимодействия продуктов распада с компонентами почвы, косвенное – в регулировании интенсивности жизнедеятельности микроорганизмов и их состава.

Процесс гумусообразования происходит под воздействием гетеротрофных микроорганизмов, которые разлагают органические остатки растений и образуют в своих телах вторичные белки, углеводы, жиры и другие органические вещества. После отмирания гетеротрофные микроорганизмы также подвергаются разложению. Продукты разложения гетеротрофов соединяются с промежуточными продуктами разложения растительных остатков и образуют гумусовые вещества.

Процессы превращения органических остатков в гумус можно разделить на три группы.

В первую группу входят химические процессы, происходящие под влиянием ферментов, или энзимов, оставшихся в органических остатках, и при участии минеральных катализаторов. Они обусловлены тем, что ферменты (энзимы), имеющиеся в живых организмах, после смерти последних не сразу теряют активность и участвуют в разложении растительных остатков. Так, при участии окислительных ферментов происходит окисление дубильных веществ, лигнина аминокислот с образованием гуминовой кислоты и гумусоподобных веществ.

Во вторую группу входят процессы, происходящие под влиянием различных почвообитающих животных (от простейших до млекопитающих). На процессы превращения органических остатков наиболее сильное влияние оказывают дождевые черви и различные насекомые (жуки, муравьи, многоножки и др.). Почвенные животные измельчают растительные остатки, поедают и возвращают их в почву в виде экскрементов, обогащенных

кишечной микрофлорой. Экскременты перемешиваются с минеральной частью почвы, улучшая ее химические и физические свойства. В переработке растительных остатков особенно велика роль дождевых червей, которые ежегодно пропускают через пищеварительный канал до 25 т/га почвенной массы или до 1 т/га органического вещества.

В третью группу входят биохимические процессы, связанные с деятельностью микроорганизмов. Деятельность микроорганизмов — один из важнейших факторов превращения органических остатков в гумус. В почве широко распространены и другие микроорганизмы: бактерии, грибы, водоросли, простейшие.

Процесс гумусообразования зависит от условий увлажнения, воздушного и теплового режимов, состава растительных остатков и жизнедеятельности микроорганизмов. В аэробных условиях при достаточном увлажнении органические остатки интенсивно разлагаются. Однако образовавшийся гумус в этих условиях быстро минерализуется, поэтому в почве накапливается мало гумуса, но много доступных для растений элементов питания. В засушливых условиях в почву поступает мало растительных остатков, процессы гумификации протекают медленно, гумуса накапливается мало. При постоянном избыточном увлажнении создаются анаэробные условия, угнетающие жизнедеятельность микроорганизмов. Процессы разложения и гумификации затухают, органические остатки превращаются в торф, представляющий собой массу полуразложившихся остатков [36].

1.2.3 Формирование подвижного органического вещества

Разложение лабильного органического вещества сопровождается формированием фракции подвижного ОВ, которая включает соединения неспецифической природы (аминокислоты, низкомолекулярные органические кислоты, углеводы) и систему свежесформированных гумусовых веществ. К этой

фракции относятся гумусовые вещества, не прочносвязанные с минеральной частью почвы [37, 38, 39].

Водорастворимые органические вещества, вымытые из опада и подстилки, представляют собой смесь различных соединений: фенольные соединения, органические кислоты, аминокислоты, углеводы, а также соединения типа гуминовых и фульвокислот [40, 41, 42].

Свободные аминокислоты активно участвуют в биохимических процессах образования гумусовых веществ, служат одним из источников питания растений и микроорганизмов азотом. К осени их содержание уменьшается. Повышенное количество растворимых углеводов способствует созданию оптимальных условий для минерализации и гумификации опада.

Интенсивность деструкции растительных остатков и их состав определяют качество и количество компонентов, поступающих в минеральный профиль с просочившимися растворами. Чем глубже идут процессы разложения в почве, тем труднее продвигается процесс отщепления растворимых минеральных продуктов [8, 43, 44].

Водорастворимое ОВ, представляя собой смесь низкомолекулярных органических соединений, принимает участие в образовании всех групп гумусовых веществ, в том числе негидролизованного остатка почвы [43].

При разложении корневых остатков основной вклад в содержание углерода гумусовых соединений вносит лигнин и белок [45].

Новообразованные гумусовые вещества в дальнейшем подвергаются биологической трансформации. Гумусовые вещества на любом этапе разложения растительных остатков присутствуют как двухкомпонентная система, в процессе дальнейшей гумификации можно наблюдать лишь некоторое, относительно небольшое изменение в соотношении между осаждаемой и неосаждаемой фракциями. В процессе дальнейшей гумификации их количество заметно уменьшается, а затем остается практически без изменений [42].

1.3 Водорастворимые продукты разложения подстилки и их роль в почвообразовании

Водорастворимые органические вещества (ВОВ) в лесных почвах – один из основных агентов педогенеза, активно трансформирующий минеральную основу почвы и профиль в целом. Разнообразие компоненты ВОВ специфической и неспецифической природы непосредственно влияют на растворимость соединений элементов, формы и масштабы их миграции.

По составу водорастворимые органические продукты можно разделить на две группы: 1) гумусовые вещества (фульвокислоты, гуминовые кислоты); 2) вещества индивидуальной природы (аминокислоты, низкомолекулярные карбоновые кислоты, полифенолы, углеводы).

Основная роль в распаде минералов и перераспределении в почвенном профиле освобождающихся продуктов принадлежит веществам первой группы.

Присутствие в структуре ВОВ разнообразных функциональных групп обеспечивает возможность образования с ионами металлов прочных комплексных соединений, сохраняющих высокую подвижность в широком диапазоне кислотности почвы.

Органические вещества, вымываемые атмосферными осадками из крон деревьев, стволов и лесных подстилок, благодаря своему составу и свойствам, служат активными участниками процесса почвообразования, взаимодействуя с минеральной частью почв, растворяя и перераспределяя освобождающиеся продукты в почвенном профиле [46].

1.4 Значение легкоминерализуемого органического вещества почвы

Компоненты легкоминерализуемой фракции органического вещества почвы являются источником большей части элементов питания, необходимых для образования наземной биомассы. Фракции органического вещества, находящиеся в форме стабильного гумуса, являются важным источником

питания только в тех почвах, где содержание или поступление легкометаболизируемых углеродных субстратов является минимальным или совсем отсутствует [17].

В подстилках, по сравнению с опадом выше концентрация зольных элементов. Высокие запасы подстилки и концентрация в ней азота и зольных элементов определяют ее аккумулирующую роль для основных элементов минерального питания растений. Органические продукты разложения подстилки, благодаря своему составу и свойствам, служат источником новообразования гумуса почвы, являются активными участниками процесса почвообразования освобождающиеся продукты в почвенном профиле [2].

Органическое вещество почвы и его легкоминерализуемая фракция участвуют в процессе почвообразования и формирования наземной биомассы. Круговорот углерода в почвах происходит большей частью по пути обновления лабильного гумуса и фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами [9].

2. Объект и методы исследования

2.1 Объект исследования

Объектом исследования служит подстилка 40-летних насаждений кедра (*Pinus sibirica*), сосны (*Pinus silvestris*), лиственницы (*Larix sibirica*), ели (*Picea abovata*), березы (*Betula fruticosa*) и осины (*Populus tremula*), высаженных в 1971-72 гг. 2-3х летними саженцами. Перед посадкой лесных культур опытный участок, предназначенный под посадку лесных культур, был подвергнут плантажной обработке с буртованием гумусового слоя для получения насколько возможно однородного почвенного массива. Первоначально бульдозером был снят 20-сантиметровый верхний слой почвы и перемещен к окраинам участка, а нижележащие слои (горизонты A2B1 и B1 фрезировались до глубины 60 см, разравнивались и уплотнялись. Затем вновь наносился гумусовый слой с последующим прикатыванием и окончательным выравниванием металлической балкой, укрепленной за трактором. Степень однородности полученного почвенного покрова проверяли методом рекогносцировочных посевов пшеницы. Учет урожая биомассы пшеницы по парцеллам показал наличие трех уровней плодородия [11].

После плантажа и нивелировки поверхности участка в 1969-70 гг. были проведены рекогносцировочные посевы пшеницы, целью которых было выявить степень однородности почвенного покрова. На окультуренном опытном участке в 1971-1972 гг. были высажены 2-3-х летние саженцы кедра, сосны, лиственницы, ели, березы и осины. При закладке многолетнего опыта проведен массовый отбор образцов, для того, чтобы полнее изучить и зафиксировать исходное состояние физико-химических свойств твердой фазы почвы опытного участка и прилегающей к участку территории, занятой 40-летним березняком.

Морфологические особенности профиля этой плантажированной почвы, изменение некоторых физико-химических свойств показаны в опубликованных работах [47, 48].

2.2 Методы исследования

В насаждении каждого лесообразователя проводился учет годового опада. Для этого использовались опадоуловители площадью ($n = 5$) площадью 0.5×0.5 м. Сбор опада проводился в течение всего года и весной следующего года. Для отбора образцов лесной подстилки ($n = 10-15$) использовался шаблон диаметром 20 см. Отбирался весь органический материал растительного происхождения. Границей раздела «подстилка – минеральная часть профиля» служило начало гумусово-аккумулятивного горизонта, который содержит не более 20–30 % органического вещества, прочно связанного с минеральным скелетом почвы. При разборе в опаде учитывали хвою (листья), кору, веточки ($d < 2$ см), шишки, мох, остатки трав и прочий растительный материал. Из образцов подстилок выбирали корни живые и мертвые и морфологически хорошо сохранившиеся, слабо затронутые разложением остатки древесного и травянистого 1-3-х – летнего опада (в сумме они представляют слой L подстилки). Оставшаяся растительная мортмасса просеивалась через набор сит с минимальным размером ячеей 0,5 мм. Растительные остатки с сит $d \geq 3$ мм объединялись. В таком виде они представляют собой ферментированные, темноокрашенные, хрупкие, но морфологически идентифицируемые, в разной степени затронутые разложением компоненты слоя ферментации (F) подстилки. Фракция остатков $d < 3$ мм в виде сильно гумифицированной, мажущейся органической массы была отнесена к слою гумификации (H) подстилки.

Полученные фракции опада и подстилки взвешивались, определялась их влажность высушиванием до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 100°C для последующего расчета абсолютно сухой массы фракции.

Почвенные образцы в насаждении каждой породы отбирались, начиная от поверхности органо-минерального горизонта (прилегающего непосредственно к подстилке – подстильно-торфяному горизонту), через каждые 2 см до

глубины 6 см, а затем через 4 см до глубины 18 (20) см. При отборе (4 повторности для каждого слоя) использовались металлические цилиндры диаметром 10 и 5 см и высотой 2 и 4 см. После определения влажности рассчитывалась объемная масса мелкозема.

Поскольку в задачи исследования входило определение интенсивности высвобождения водорастворимого углерода, в насаждении каждого из лесообразователя устанавливались лизиметры системы Шиловой [49]. Площадь приемной поверхности лизиметров (трехкратная повторность на каждом участке) 30 × 40 см. Масса подстилки и ее состав на лизиметрах соответствовали средним показателям для насаждения каждого лесообразователя. Средние показатели рассчитывались по данным предварительно отобранных образцов подстилки (n = 10-15), после определения их влажности, сухой массы и фракционного состава верхнего подгоризонта L. Эксперимент с разложением подстилки продолжался 3 года 5 месяцев (2.06.2010–10.10.2014 гг.). Сбор фильтрующихся через подстилки растворов с замером объема проводили в течение двух лет: лето 2010 - весна 2011 гг и лето 2011 – весна 2012 гг. После каждого сбора в растворах определяли концентрацию углерода методом бихроматной окисляемости по Тюрину [50]. Подстилка с лизиметров, снятая 10.10.2014 года, фракционировалась на подгоризонты L, F, H. Растительная масса каждого подгоризонта высушивалась, взвешивалась и после определения влажности рассчитывалась абсолютно сухая масса. Интенсивность разложения растительной массы («потеря» растительной массы за единицу времени на единицу площади, г/(м² год) рассчитывалась следующим образом: $\Delta A_0 = (M_1 + \text{опад}) - M_2 / T$,

Где: ΔA_0 – интенсивность разложения;

M_1 – масса подстилки, уложенной на лизиметр;

M_2 – масса подстилки, снятой с лизиметра;

T – длительность эксперимента (3 с половиной года).

Методы химического анализа

Определение углерода в растительном материале проводилось при использовании измерительного комплекса PSCO/ISI IBM-PC 4250, работающего на основе диффузного отражения в ближней ИК-области спектра [51]. Подвижное ОВ определяли в вытяжках при последовательном суточном настаивании образца с дистиллированной водой и 0,1н раствором NaOH, без предварительного декальцирования. Гуминовые кислоты осаждали 0.1н раствором H_2SO_4 в щелочной вытяжке. Концентрацию углерода в водной и щелочной вытяжках, а также $C_{ГК}$ определяли методом бихроматной окисляемости по Тюрину.

3. Экологические условия района исследования

3.1 Характеристика района исследования

Восточная окраина Кемчугской возвышенности, где расположен опытный участок, по биоклиматическому районированию Красноярского края относится к подтайге Западной Сибири. По геоморфологическому делению Кемчугская возвышенность входит в Чулымо-Енисейскую денудационную равнину юго-восточной окраины Западно-Сибирской низменности. На поверхности под покровом четвертичных образований почти всюду залегают юрские отложения. Водоразделы денудационной равнины располагаются на абсолютных высотах от 300 до 450 метров. Они расчленены на плоские увалы, а ближе к горам – на отдельные плосковершинные холмы. Главные водные артерии территории – реки Большой и Малой Кемчуг – имеют извилистые русла и принадлежат к бассейну Оби.

Формирование почвообразующих пород и рельефа тесно связаны и имеет свои особенности. Территория Кемчугского поднятия представляет собой остатки подгорной аллювиально-пролювиальной равнины, образовавшейся у подножия Восточного Саяна и Южно-Енисейского кряжа. Почвообразующие породы Кемчугской возвышенности представлены бурыми и коричнево-бурими глинами мощностью от 1 до 3-6 м.

Растительность

Большая часть возвышенности покрыта лесами. В ее центральной части расположены наиболее влаголюбивые пихто-еловые леса с примесью кедра. Насаждения здесь высокоствольные сомкнутые. Подлесок состоит из рябины, бузины, телиркании, смородины, местами рябинника. Встречаются отдельные кусты жимолости алтайской, волчьего лыка. Травяной покров характеризуется большой видовой насыщенностью: 40 – 50 видов на площади 10м². Преобладает высокотравье, состоящее из вейников и разнотравья: борец высокий, реброплодник уральский, осот разнолистный, василистник малый, таволга вязолистная, скерда сибирская, медуница, страусопер, черемша,

какалия. Местами на старых гарях развились крупноствольные березовоосиновые леса. На лесных полянах, по долинам рек, на гарях отмечается густой высокий травостой с большим количеством бобовых, зонтичных, кипрея и другого разнотравья.

На севере преобладают сосна и береза, которые занимают водоразделы, уступая место в долинах елово-пихтовым лесам. В южной части по заболоченным участкам распространены елово-пихтовые таволговые лес, на более сухих водоразделах – сосновые боры.

Травяной покров парковых сосняков сходен по видовому составу с покровом березовых и березово-осиновых лесов, но более остепнен, здесь заметно уменьшается количество широколиственных видов. К основным растениям сосновых лесов можно причислить горошек однопарный, сочевичники Гмелина и весенний, реброплодник уральский, вейник Лангсдорфа, лилию даурскую, володушку золотистую, герань голубую, василистник малый, борец степной и многое другое.

Иные типы сосняков появляются на песчаных террасах рек и выходах коренных песчаных пород. Насаждения здесь более сомкнуты. В травяном покрове ряд северных и боровых видов: брусника, кошачья лапка, грушанки однобокая и круглолистная, овсяница овечья, черника. По структуре, составу древостоя и травяного покрова они относятся к лесам предгорного типа.

Большие площади Кемчугской возвышенности заняты луговой растительностью. Преобладают лесные луга, которые приурочены к лесным полянам, опушкам, а также к старым гарям и вырубкам. Травяной покров лугов высокий, густой, образован лесными и лугово-лесными видами, в составе его преобладает разнотравье.

Территория, примыкающая к участку модельного опыта с лесными культурами, занята 40-летним вторичным березняком, сохранились единичные сосны и лиственницы. Травяной покров хорошо развит, представлен лесными и лугово-лесными видами [52].

Почвенный покров опытного участка и прилегающих территорий представлен темно-серой лесной слабоподзоленной глееватой почвой развитой на коричнево-бурой глине. Эти почвы располагаются на плоских вершинах и иногда склонах северной экспозиции под светлохвойными травянистыми лесами.

Расположение Кемчугской лесной возвышенности внутри огромного Евразийского материка обуславливает континентальность климатических условий, причем более суровых по сравнению с лежащими западнее и восточнее лесостепными районами.

Климат

Весеннее снеготаяние в районе исследований по среднемноголетним данным начинается в конце марта, а полный сход снежного покрова приходится на 3-ю декаду апреля.

Среднесуточные температуры воздуха переходят через 0° с 17.04, 5° - с 5.05, 10° - с 24.05 и 15° - с 14.06. С 24.05 наступает основной этап весенней вегетации – зеленая весна, феноиндикатором которой является береза.

Лето жаркое (средняя температура июля 18°) и в первую половину засушливое. На дни с неблагоприятно высокой среднесуточной температурой воздуха в 20-25° и влажностью воздуха менее 30% приходится от 15 до 23 дней.

Золотая осень начинается с пожелтения березы и приходится на 24.08, а переход температуры воздуха через 15° в сторону понижения еще раньше – 14.08. Окончание вегетационного периода наступает во 2-й декаде сентября, а продолжительность вегетационного периода (с температурой больше 10°C) составляет 110-130 дней.

При среднем многолетнем количестве осадков в 476мм (М.Кемчуг) на вегетационный период (май-август) приходится 314 мм, или 66% годовой нормы, а на летний период – около 200 мм, причем наименьшее количество осадков выпадает в первой половине лета (в июне).

Первый снежный покров отмечается во 2-й декаде октября, в устойчивый образуется к началу ноября, что соответствует переходу температуры воздуха

через 10° 16.10 и устойчивый морозам, начинающимся не раньше 6.11. Средняя температура зимних месяцев – около - 16°, января - 17°.

Продолжительность устойчивого снежного покрова составляет 171 день при наибольшей высоте снега 70-80 см (М.Кемчуг). Устойчивое промерзание верхних слоев почвы отмечается в 3-й декаде октября, а наибольшая глубина промерзания, варьируя по годам, составляет в среднем 1,6м. По температурному режиму, почвы этого региона относятся к резко континентальному подтипу длительных сезонномерзлотных почв.

Климатические условия Кемчугской возвышенности отличаются значительной степенью континентальности (58-59%), хорошей влагообеспеченностью и недостаточным количеством тепла. [47, 52].

4. Запас и фракционный состав подстилки и опада в экосистемах кедра, сосны, ели, лиственницы, осины и березы

(для написания главы использованы материалы, приведенные в статье Э.Ф. Ведровой и Т.В. Решетниковой « ...», 2014) [52].

4.1 Интенсивность поступления опада и его фракционный состав

Основным источником формирования лесной подстилки служат ежегодно опадающие фракции фитомассы древостоев. Состав и масса органического вещества в опаде зависят от состава древесного яруса и его полноты. Различия между насаждениями разных древесных пород по интенсивности отмирания фракций древесных органов и их поступления на поверхность почвы связаны с видовыми особенностями лесообразующих пород.

Основное поступление опада в насаждениях листопадных видов в изучаемых приходится на сентябрь, в лиственничнике – на первую декаду ноября. Для хвойных видов формирование массы опада в значительной мере связано с зимним периодом.

Средняя за два года исследования интенсивность опада в культурах хвойных видов изменялась от 290 ± 64 (в ельнике) до 500 ± 57 (в кедровнике) $\text{г}/\text{м}^2$ (Таблица 1).

Таблица 1 – Интенсивность поступления опада, $\text{г}/(\text{м}^2 \text{ год})$

Год наблюдения	Кедр	Сосна	Ель	Лиственница	Береза	Осина
2010-2011	628 ± 43	487 ± 24	207 ± 14	535 ± 34	201 ± 48	299 ± 53
Год наблюдения	Кедр	Сосна	Ель	Лиственница	Береза	Осина
2011-2012	426 ± 28	412 ± 57	367 ± 35	332 ± 18	427 ± 10	512 ± 29
Среднее за 2 года	500 ± 57	448 ± 32	290 ± 64	430 ± 37	310 ± 29	406 ± 65

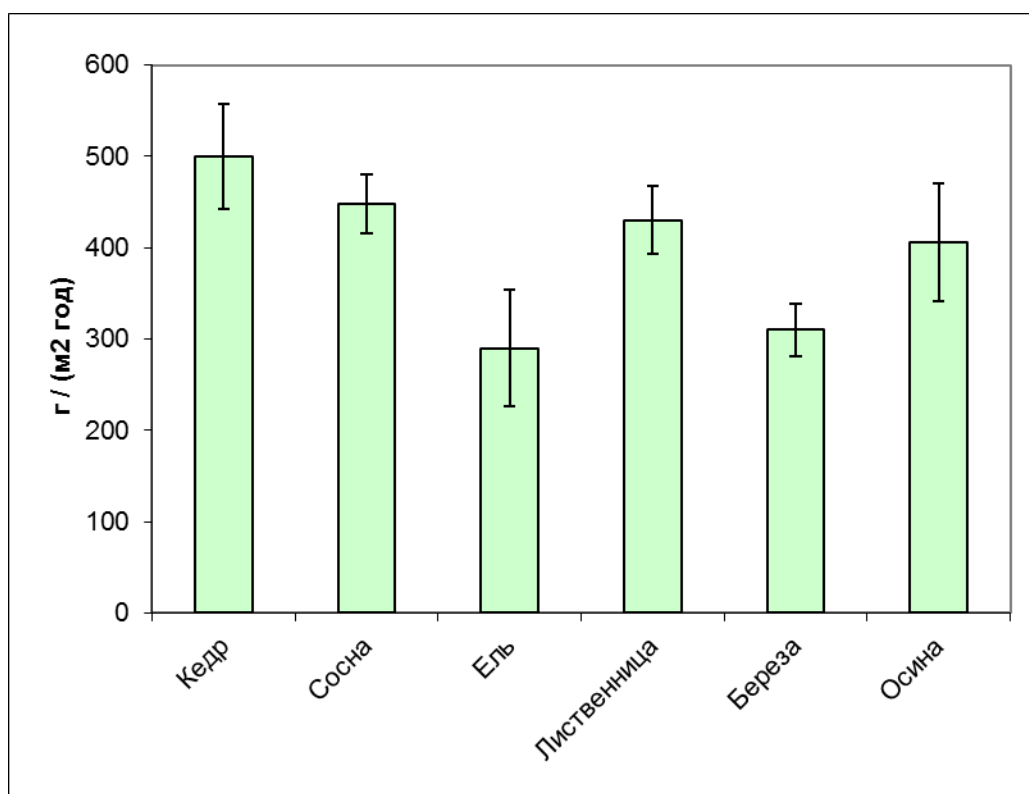


Рисунок 1 – Интенсивность поступления опада (средняя за два года)

Основным компонентом опада в хвойных и лиственных культурах является листва (хвоя). Среди хвойных ее доля – 70-88% – максимальна в кедровнике. В сосняке, ельнике и лиственничнике хвоя составляет от 46 до 55%. Опад кедровника отличается от других хвойных незначительным участием ветвей – всего 1-9%. В лиственничнике на долю ветвей приходится 26-41%, в ельнике – 31-34%, в сосняке – 12-18% массы опада.

В березняке и осиннике листва в опаде составляют 70-87%. На ветви в березняке приходится 21-23%, в осиннике их участие изменялось от 9 до 29%.

4.2 Запас подстилки и ее состав в экосистемах разных лесообразователях

Ежегодный опад и отпад наземных органов растений в лесной экосистеме формирует особый горизонт почвенного профиля – лесную подстилку. Мощность и запасы лесной подстилки зависят от количества и

фракционного состава поступающего опада, от интенсивности его разложения, которая, в свою очередь, определяется физическими и химическими свойствами растительного материала и почвы и гидротермическими условиями разложения. Наблюдения, проведенные Т.Н. Решетниковой [53] в период 2010-2012 гг. показали, что изменения массы подстилки в насаждениях были незначительными и не превышали 10%. В культурах хвойных пород запас подстилки изменялся от 2348 до 3870 г/м² и превышал в 2-3 раза таковую в березняке и осиннике (Таблица 2; Рисунок 2).

Таблица 2 – Запасы подстилки, г/м² (среднее за учет в 2010, 2011, 2012гг)

Подгоризонт подстилки	Лесообразующая порода					
	Кедр	Сосна	Лиственница	Ель	Береза	Осина
L	438±64	1521±167	1161±183	705±101	437±35	573±51
F	2795±192	1694±242	1319±208	2708±189	661±71	439±46
H	135±24	242±41	158±34	297±44	83±10	112±16
Всего	3368±239	3457±219	2638±295	3709±288	1180±100	1124±76

Максимальная масса подстилки отмечена в ельнике, минимальная – в лиственничнике. В насаждениях березы и осины средние за три года учета запасы подстилки не различаются.

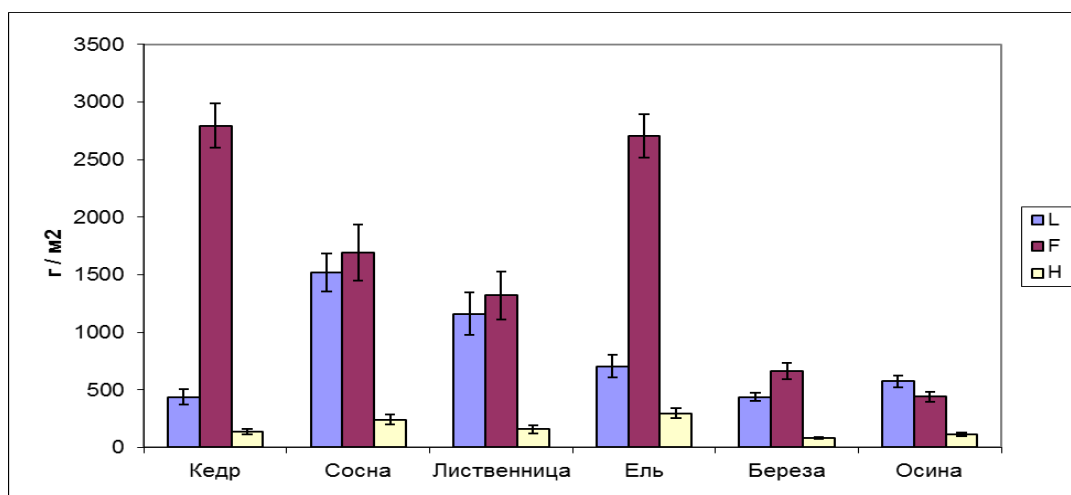


Рисунок 2 – Средние запасы подстилки по подгоризонтам, г/м²

Преобладающим среди растительных остатков подстилки всех пород является подгоризонт ферментации. Он состоит из не полностью разложившихся, морфологически идентифицируемых, плотно слежавшихся, хрупких в сухом состоянии, темноокрашенных остатков растительного происхождения.

Почти полностью разложившаяся растительная масса подгоризонта гумификации не превышает 10% общего запаса подстилок во всех насаждениях с минимумом под кедром (4% массы).

4.3 Соотношение углерода и азота в опаде и подстилке

В годичном цикле разложения участвует поступивший за год опад и накопившаяся на поверхности почвы подстилка. Интенсивность разложения этого растительного материала зависит от запаса в нем азота и зольных элементов. Она характеризует массу вещества на единице площади, высвободившегося за единицу времени ($\text{г}/(\text{м}^2 \text{ год})$).

Удельная скорость разложения показывает долю от запаса вещества (в нашем случае углерода) на которую вещество убывает (или прибывает) за единицу времени ($\text{г С}/\text{год}$). Она зависит от биохимического состава органического материала. Одним показателей биохимического состава является соотношение углерод- и азотсодержащих соединений в разлагающемся материале.

При разложении «колонки» растительных остатков опад – L – F - H содержание C-содержащих соединений снижается, N-содержащих увеличивается, соотношение C:N, соответственно, становится более узким (Таблица 3).

Таблица 3 – Изменение соотношения углерода и азота по мере увеличения степени разложенности растительных остатков

Лесообразователь	Опад	L	F	H
Кедр	101	91	57	43
Сосна	98	91	56	44
Лиственница	87	91	51	37
Ель	87	86	47	38
Осина	118	69	44	33
Береза	76	66	45	39

В годичном цикле разложения наиболее быстро разлагается опад-подстилочный материал насаждений листопадных видов: «потеря» его массы (т.е. интенсивность разложения) составляла 24-26, 14-25 и 14-23%, соответственно для лиственницы, осины и березы [53]. Подстилка хвойных разлагалась значительно медленнее – 6-11%.

5. Трансформация подстилки в полевом эксперименте (разложение подстилки на лизиметрах)

Разложение подстилки и поступающего в течение года на поверхность почвы опада складывается из двух одновременно протекающих процессов: минерализации до простых соединений, в том числе водорастворимых органических продуктов и диоксида углерода и гумификации - новообразования молодых гумусовых веществ. Чтобы определить интенсивность этих процессов в каждом насаждении закладывали полевой эксперимент, в котором подстилка (по массе эквивалентная ее запасу в соответствующем насаждении) 3 года и 4 месяца разлагалась на лизиметрах системы Шиловой. Каждый лизиметр соединялся с приемником растворов (лизиметрических растворов), фильтрующихся через подстилку при выпадении

атмосферных осадков. В них, как это следует из описания методики, определялась концентрация углерода и проводился расчет его количества, поступающего из подстилки на единицу площади. Полученные средние за 2 года наблюдений результаты использовались при оценке основных потоков углерода при разложении подстилки разных лесообразователей.

При окончании эксперимента подстилка с лизиметров снималась, подсушивалась до воздушно-сухого состояния и разбиралась по подгорizontам L, F и H. Каждый слой подстилки взвешивался, после определения влажности рассчитывалась их абсолютно сухая масса и образцы анализировались на содержание $C_{\text{Общ}}$, $C_{\text{Пов}}$ и $C_{\text{ГК}}$.

5.1 Изменение запаса и стратиграфии подстилки в процессе разложения на лизиметрах

Масса подстилки, снятой с лизиметров по окончании эксперимента, изменилась по сравнению с исходной, уложенной в 2010г. (Таблица 4). В сосняке, лиственничнике и насаждениях березы и осины запас подстилки увеличился на 6, 13, 13 и 38% соответственно. В ельнике и кедровнике произошло снижение массы подстилки на 16 и 24% соответственно. Здесь же наблюдается высокая вариабельность как всей массы подстилки – 31 и 36%, так и массы ее подгорizontов.

Таблица 4 – Запас подстилки на лизиметрах по окончанию эксперимента (11.10.2014 г), г/м²

Подгорizont	Лесообразующая порода					
	подстилки					
11.10.2014г	Кедр	Сосна	Лиственница	Ель	Береза	Осина
L	574	1080±34	1248±85	522±236	329±122	595±52
F	1317	1457±446	1607±45	1965±677	560±80	446±132
H	683	1120±290	418±31	621±292	447±205	512±88
Всего	2573	3657±770	3273±161	3108±1205	1336±407	1553±272
Исходный*	3368±239	3457±219	2892±295	3709±288	1180±100	1124±76

*учет 23.05.2010г

Менее других варьирует запас подстилки на лизиметрах в лиственничнике (2%) и сосняке (8%). Среди подгоризонтов подстилки наибольшая вариабельность характерна для слоя гумификации.

За время эксперимента произошло изменение соотношения массы подгоризонтов подстилки. Наиболее четко это проявилось в увеличении доли гумифицированных продуктов (подгоризонт гумификации) в составе подстилки (Таблица 5).

Таблица 5 – Соотношение массы подгоризонтов подстилки в начале и при окончании эксперимента

Образец	Масса Сподгоризонта, % от массы Сподстилки		Образец	Масса Сподгоризонта, % от массы Сподстилки	
	2010 год	2014 год		2010 год	2014 год
Кедр: L	16	27	Лиственница: L	51	45
F	80	49	F	44	44
H	4	24	H	5	11
Сосна: L	48	34	Осина: L	56	45
F	46	39	F	36	28
H	6	27	H	8	27
Ель:L	23	20	Береза: L	48	30
F	70	62	F	47	40
H	7	18	H	5	30

5.2 Интенсивность разложения массы подстилка+опад на лизиметрах

Максимальная за год «потеря» массы опад + подстилка, разлагающейся на лизиметрах в течение эксперимента, (т.е. интенсивность разложения) отмечена в кедровнике, минимальная – в насаждениях лиственных пород (Таблица 6).

Таблица 6 – Интенсивность разложения подстилки

Кедр	Сосна	Лиственница	Ель	Осина	Береза
Масса подстилки 2.06.2010, г/м ²					
3368	3457	2892	3709	1124	1180
Интенсивность опада, г/ (м ² год)					
500	448	430	290	406	310
Поступило опада за 3года 5мес, г/м ²					
1675	1501	1441	972	1360	1039
Всего разлагалось за 3 года 5 мес., г/м ²					
5043	4958	4333	4681	2484	2219
Масса подстилки 11.10.2014г, г/м ²					
2573	3657	3273	3108	1553	1336
Снижение массы опада-подстилки за 3года 5 мес., г/м ²					
2470	1301	1060	1573	931	883
Интенсивность разложения опада-подстилки, г/(м ² год)					
737	388	316	469	278	263
Участвовало в разложении в течение года, г/м ²					
3868	3905	3322	3999	1530	1490
Снижение массы опада-подстилки за год, %					
19	10	10	12	18	18

При равных запасах разлагающегося материала изменение интенсивности разложения произошло за счет нарушения исходной стратиграфии, плотности сложения массы подстилки при ее подготовке к укладыванию на лизиметры. Для подстилки кедровника и ельника это способствовало увеличению скорости разложения, а для лиственничника к снижению.

В углеродном эквиваленте интенсивность высвобождения углерода при разложении органического вещества массы опада-подстилки приведена в таблице 7. Как следует из таблиц 5 и 6, интенсивность разложения не связана напрямую с количеством разлагающегося материала. Так, среди хвойных насаждений при близких запасах разлагающегося органического вещества в кедровнике высвобождается почти в 2 раза больше углерода: 22% против 12-14% в сосняке, ельнике и лиственничнике. Скорее всего, различия связаны с разным качественным и биохимическим составом разлагающегося материала.

Таблица 7 – Интенсивность высвобождения углерода при разложении

Кедр	Сосна	Лиственница	Ель	Осина	Береза
Масса углерода подстилки 02.06.2010, г/м ²					
1436	1640	1267	1597	522	514
Интенсивность опада, г С/ (м ² год)					
291	229	230	154	218	170
Участвовало в разложении в течение года, г С /м ²					
1727	1869	1497	1751	740	684
Масса углерода подстилки 11.10.2014, г/м ²					
1111	1644	1406	1317	555	677
Интенсивность высвобождения углерода, г/(м ² год)					
388	228	188	237	172	158
Высвобождение углерода за год, % от разлагающейся массы					
22	12	13	14	23	23

В осиннике и березняке, где запас разлагающегося органического вещества в 2 и более раза ниже, чем в хвойных насаждениях, высвободилось в годичном цикле разложения 23% углерода.

5.2.1 Вынос в почву водорастворимых органических продуктов разложения подстилки

Высвобождающиеся продукты разложения, растворяясь в атмосферных осадках, передвигаются вниз по профилю почвы, осаждаются и взаимодействуя с минеральной частью почвы. В течение года из подстилки на лизиметрах в почву кедровника и ельника фильтруется 66 и 74 л, сосняка и лиственничника 100 и 116 л, осинника и березняка 128 и 148 л подстилочных (лизиметрических) растворов (в пересчете на м²). Различия в объемах лизиметрических растворов обусловлены неодинаковой для атмосферных осадков пропускной способностью крон древостоев и впитывающей способностью подстилок разных лесообразователей. В течение года из подстилки кедровника, сосняка, лиственничника и ельника в почву поступает, соответственно, 6.8, 9.9, 6.1 и 3.8 г С/м², в осиннике и березняке – 6.8 и 4.0 г С/м².

На долю водорастворимых органических продуктов разложения в общем высвобождении углеродсодержащей органики подстилки в хвойных насаждениях приходится от 1.6% (ельник) до 4.4% (сосняк), в лиственных 2.3 и 4.3%, соответственно в осиннике и березняке (Таблица 7).

5.2.2 Состав подвижного органического вещества подгоризонтов подстилки

Трансформация органических остатков до полного или частичного превращения сложноорганизованных молекул ОВ в более простые продукты минерализации сопровождается окислением и полимеризацией продуктов разложения, соединений циклической природы и синтезированной микроорганизмами плазмы, что приводит к постепенному образованию новых, более устойчивых к биоразложению гумусовых соединений.

Подвижное органическое вещество растительных остатков с лизиметров включает водорастворимые и растворимые в щелочи продукты разложения. В состав последних входят молодые новообразованные формы гумуса, неспецифические органические вещества, продукты автолиза и метоболизма биоты и гумусовых веществ. Доля $C_{\text{пов}}$ в составе подстилки, снятой с лизиметров, в хвойных насаждениях изменяется от 11% в лиственничнике до 17 и 21% в сосняке и кедровнике. В осиннике и березняке $C_{\text{пов}}$ составляет 9 и 11% от запаса С в подстилке. В изменении концентрации подвижных, в том числе веществ, растворимых в щелочи, по профилю подстилки отмечается общее для всех лесообразователей увеличение в подгоризонтах ферментации и гумификации (Рисунок 3).

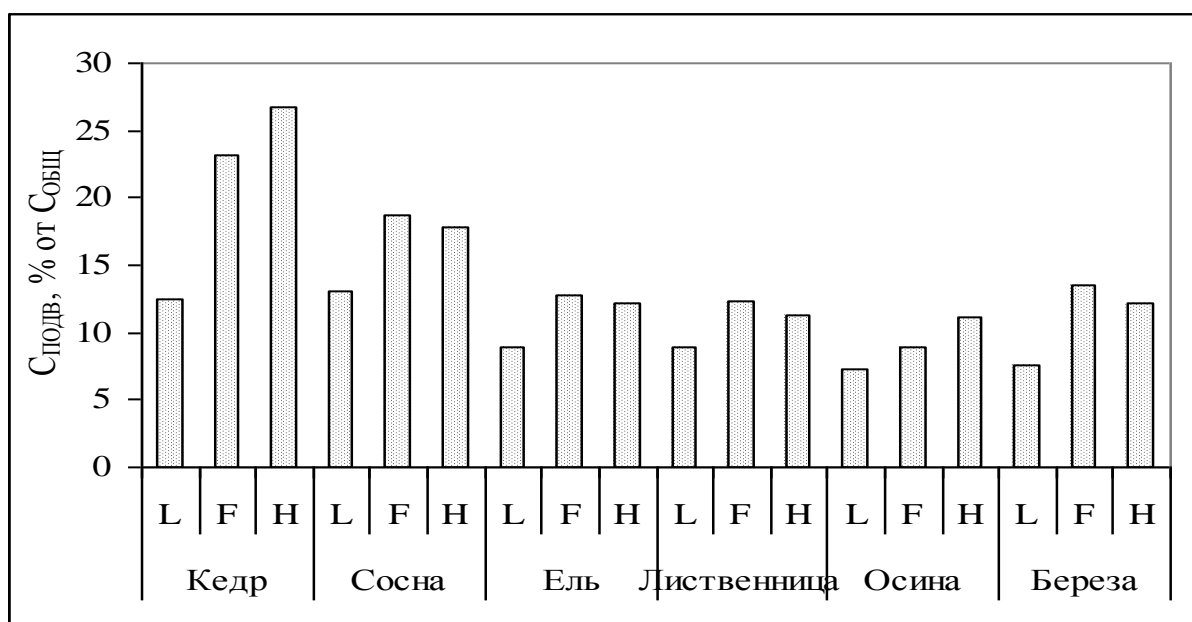


Рисунок 3 – Содержание углерода подвижного органического вещества, % от Cобщ

В составе подвижного ОВ преобладают растворимые в 0.1н растворе NaOH (Рисунок 4). Из слабо затронутого разложением слоя L подстилки водой экстрагируется в среднем не более 20% (17-24%) Cпов и от 4 до 8% из подгоризонтов F и H.

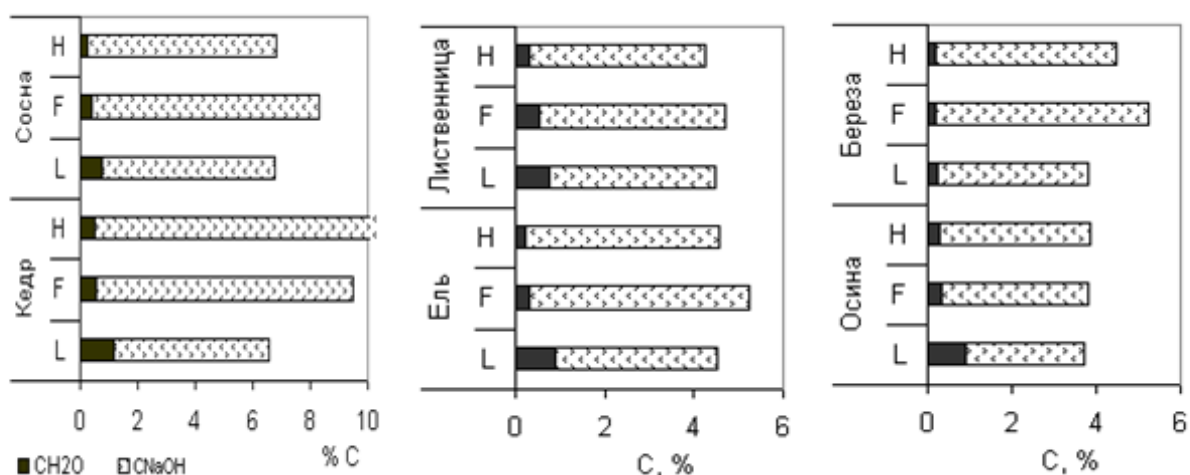


Рисунок 4 – Состав подвижного органического вещества, %

Гумусовые вещества щелочной вытяжки практически во всех насаждениях в равной доле распределены между гуминовыми и

фульвокислотами (Рисунок 5). Лишь только в сосняке и лиственничнике нижние слои подстилки характеризуются гуматным составом новообразованного гумусового вещества.

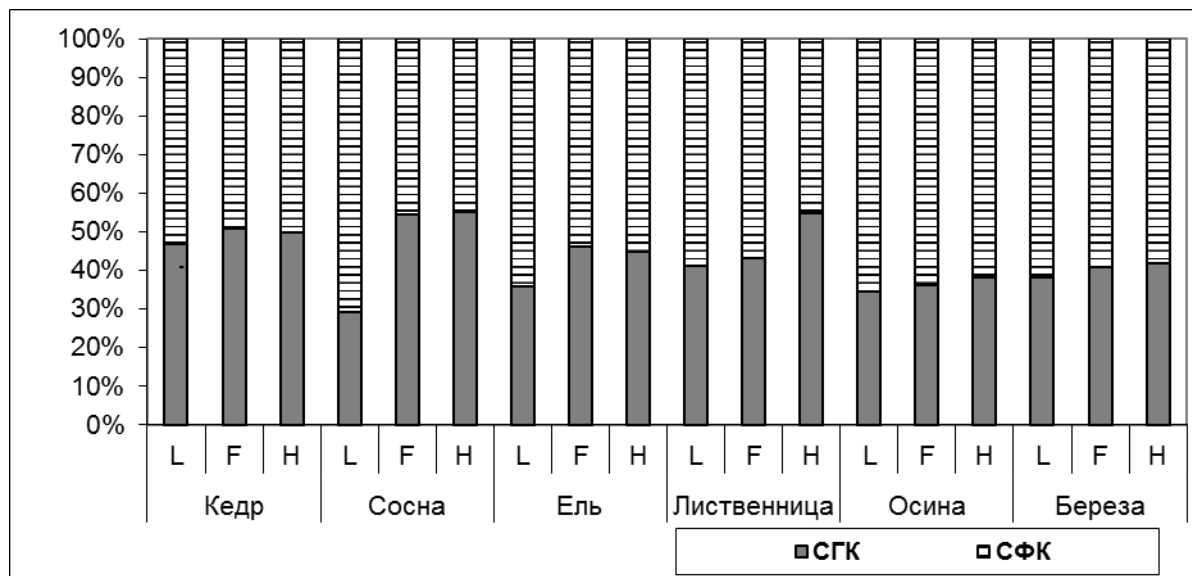


Рисунок 5 – Распределение гуминовых и фульвокислот щелочной вытяжки, %

5.2.3 Изменение содержания подвижного углерода при разложении подстилки

Общее содержание подвижного ОВ в подстилке на лизиметрах во всех насаждениях, кроме осинника, практически осталось прежним, но вслед за изменением соотношения массы подстилки изменилось и соотношение его запаса между подгоризонтами (Таблицы 8 и 9). Наиболее выраженное увеличение запаса $C_{\text{ПОВ}}$ отмечается в подгоризонте гумификации подстилки, где кроме увеличения массы гумифицированного материала увеличилась и концентрация растворимого в щелочи новообразованного гумусового вещества (Рисунок 5).

Таблица 8 – Подвижное ОБ подстилки в начале и при окончании эксперимента, г С/м²

Порода	Год	Всего	в том числе по п/горизонтам		
			L	F	H
Кедр	2010	259	19	230	10
	2014	232	37	125	71
Сосна	2010	268	95	158	15
	2014	274	73	123	78
Ель	2010	152	25	112	15
	2014	158	24	106	28
Лиственница	2010	134	45	78	11
	2014	148	57	74	17
Осина	2010	38	21	15	3
	2014	58	21	17	20
Береза	2010	55	27	26	2
	2014	62	13	29	20

Таблица 9 – Подвижное ОБ в массе подгоризонтов, % от СПОВ массы подстилки

Образец	С _{ПОВ} в подгоризонте, % от С _{ПОВ} подстилки		Образец	С _{ПОВ} в подгоризонте, % от С _{ПОВ} подстилки	
	2010 год	2014 год		2010 год	2014 год
Кедр: L	7	16	Лиственница: L	34	38
F	89	54	F	58	50
H	4	30	H	8	12
Сосна: L	36	27	Осина: L	54	36
F	59	45	F	40	30
H	5	28	H	7	34
Ель:L	17	15	Береза: L	48	22
F	74	67	F	47	46
H	9	18	H	5	32

Наиболее выраженное увеличение запаса С_{ПОВ} отмечается в подгоризонте гумификации подстилки, где кроме увеличения массы гумифицированного

материала увеличилась и концентрация растворимого в щелочи новообразованного гумусового вещества (Рисунок 6).

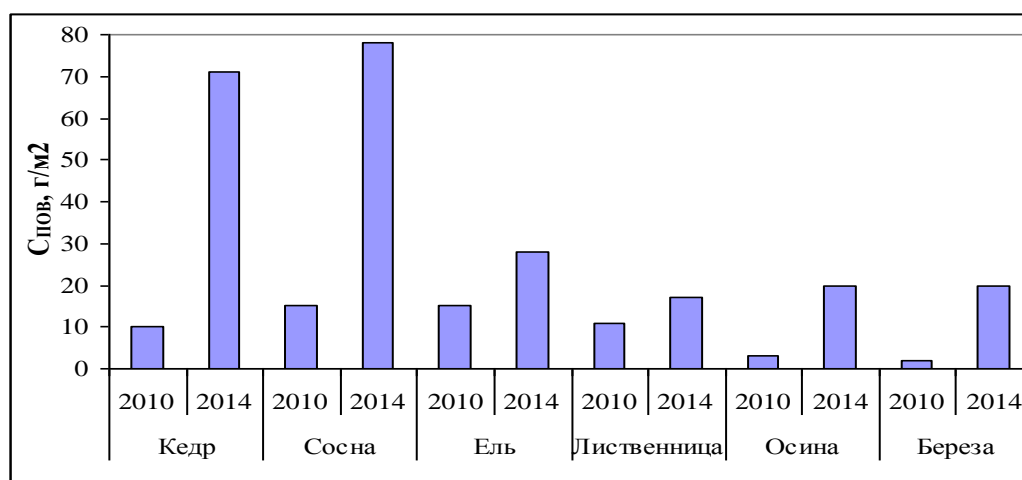


Рисунок 6 – Запас C_{ПОВ} в слое гумификации подстилки в начале и конце эксперимента, гС/м²

Наименее заметные изменения отмечены в подстилке лиственничника, где верхние два слоя F и H по массе не изменились, а масса слоя гумификации увеличилась лишь в 2 раза, концентрация щелочерастворимого вещества была ниже, чем в этом слое исходной подстилки (Рисунок 7).

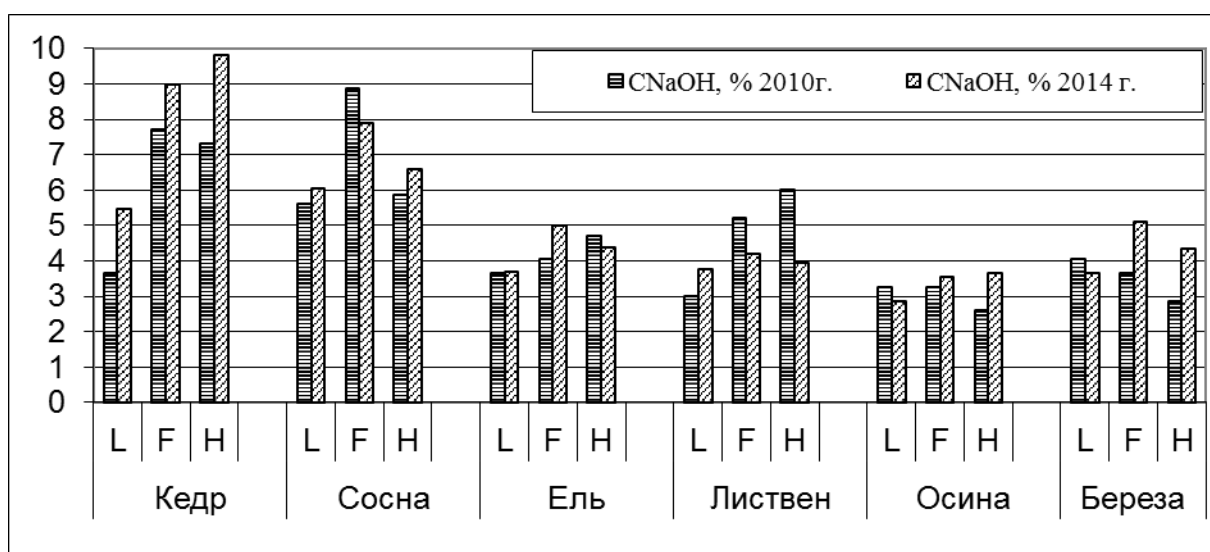


Рисунок 7 – Концентрация углерода щелочерастворимых веществ, %

5.2.4 Соотношение потоков минерализации и гумификации при разложении органического вещества массы опада-подстилки

Увеличение количества подвижного органического веществ в составе массы подгоризонта Н за период с 2010 по 2014 гг. использовалось для расчета интенсивности процесса гумификации ($C_{ГУМ}$ г/(м² год)) при разложении массы опада-подстилки. Обработка результатов проведенного эксперимента позволила оценить интенсивность основных потоков углерода при разложении растительного вещества в насаждениях разных лесобразователей (Таблица 10).

Таблица 10 – Интенсивность основных потоков углерода при разложении органической массы опада-подстилки, г С/(м² год)

Лесобразующая порода					
Кедр	Сосна	Ель	Лиственница	Осина	Береза
Снижение массы С при разложении (ΔC , г/(м ² год))					
388	228	237	188	172	158
<i>С, % от массы, участвующей в годовичном разложении</i>					
22.5	12.2	13.5	12.6	23.2	23.1
Минерализация до CO ₂ , г С/(м ² год)					
363	199	229	180	163	146
Вынос в почву водорастворимых органических продуктов (C _{H2O}), г С/(м ² год)					
7	10	4	6	4	7
<i>С_(CO2 + CH2O), % от массы С, участвующей в годовичном разложении</i>					
21.4	11.2	13.3	12.4	22.5	21.3
Гумификация, C _{ГУМ} , г/(м ² год)					
18	19	4	2	5	5
<i>C_{ГУМ}, % от массы С, участвующей в годовичном разложении</i>					
1.1	1.0	0.2	0.1	0.7	0.8

Судя по полученным данным, в насаждениях хвойных пород при близкой массе разлагающегося в течение года материала процессы разложения в кедровнике протекают почти в 2 раза быстрее, чем в других. В осиннике и березняке при значительно меньшем, чем в хвойных запасах разлагающегося материала, скорость разложения такая же, как в кедровнике. Скорость разложения зависит от биохимического состава органического материала, показателем которого для подстилки может служить соотношение в них С- и

N-содержащих соединений и соотношение органических и минеральных веществ. Наличие тесной отрицательной связи между скоростью разложения и соотношениями C/N ($r = -0.77$) и C/зола ($r = -0.75$) показаны в публикации Ведровой Э.Ф. и Миндеевой Т.Н. (1998).

На долю водорастворимых органических продуктов разложения в общем высвобождении углеродсодержащей органики подстилки в хвойных насаждениях приходится от 1.7% (ельник) до 4.3% (сосняк), в лиственных 2.3 и 4.4%, соответственно в осиннике и березняке (Таблица 11).

Таблица 11 – Долевое распределение потоков относительно массы углерода, высвободившегося при разложении, % от ΔC

Поток С	Кедр	Сосна	Ель	Лиственница	Осина	Береза
Минерализация	95.4	91.7	98.4	99.1	97.0	96.6
в т.ч. C_{CO_2}	93.6	87.4	96.7	95.9	94.7	92.2
C_{H_2O}	1.8	4.3	1.7	3.2	2.3	4.4
Гумификация	4.7	8.2	1.6	1.0	3.0	3.4

Основная часть высвободившегося при разложении органического вещества (87-97%) минерализуется до диоксида углерода. В новообразовании гумусовых веществ при разложении подстилки хвойных насаждений участвует от 1 до 8% высвободившихся продуктов, в осиннике и березняке - 3 и 3.4%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты полевого эксперимента показали, что за 3 года и 5 месяцев в подстилке всех лесобразователей заметно увеличилась доля подгоризонта гумификации. Максимальная интенсивность разложения, т.е. максимальное снижение массы разлагающегося материала отмечено при разложении подстилки кедровника, минимальное – при разложении подстилки осинника и березняка. При близкой массе участвующего в разложении органического вещества скорость его разложения обусловлена качественным и биохимическим составом (соотношением С- и N-содержащих соединений и соотношением органических и минеральных (зольных) элементов).

Основная часть высвободившегося при разложении органического вещества (87-97%) минерализуется до диоксида углерода.

С водорастворимыми органическими продуктами разложения подстилки, вымываемых атмосферными осадками, в почву хвойных насаждений поступает от 4 (в ельнике) до 10 (в сосняке) г С/ (м² год), в осиннике - 4 и в березняке – 7 г С/(м² год), что составляет от 2 до 4% разложившегося органического вещества.

Интенсивность гумификации при разложении подстилки хвойных насаждений составляет 18, 19, 4 и 2 гС/(м² год), соответственно в кедровнике, сосняке, ельнике и лиственничнике. Синтез молодых гумусовых веществ при разложении подстилки в осиннике и березняке составляет 5 гС/(м² год). В целом, при разложении подстилки хвойных лесобразователей по пути гумификации «уходит» от 1% (в лиственничнике) до 8% (в сосняке) углерода разложившегося вещества, в осиннике и березняке – по 3%. Относительно массы С, участвующей в годичном разложении, на гумификацию расходуется от 0.1 до 1%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богатырев, Л.Г. Лесные подстилки и диагностика современной направленности гумусообразования в различных географических зонах / Л. Г. Богатырев, И.А. Свентицкий, Р.Н. Шарафундинов, А.А. Степанов // Почвоведение. - 1998. - № 7. - С. 864 - 875.
2. Ведрова, Э.Ф. Трансформация растительных остатков в 25-летних культурах основных лесообразующих пород Сибири / Э.Ф. Ведрова //Лесоведение. – 1995. - №4. - С. 13 - 21.
3. Зонн, С.В. Лесные почвы Камчатки / С.В. Зонн, Л.О. Карпачевский, В.В. Стефин. – М.: Из-во: АН СССР, 1963. - 254 с.
4. Карпачевский, Л.О. Лес и лесные почвы / Л.О. Карпачевский. - М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
5. Ваганов, Е.А. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода / Е. А. Ваганов, Э.Ф. Ведрова, С.В. Верховец, С.П. Ефремов, Т.Т. Ефремова, В.Б. Круглов, А.А. Онучин, А.И. Сухинин, О.Б. Шибистова // Сибирский экологический журнал. - 2005. - №4. - С. 631 - 649.
6. Фокин, А.Д. Главные составляющие гумусового баланса почв и их количественная оценка // Органическое вещество и плодородие почв. ТСХА, 1983. С. 3-16.
7. Органическое вещество почвы [Электронный ресурс] : файловый архив для студентов. / Ярославская сельскохозяйственная акад. – 2015. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3851667/>
8. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1966. – 314 с.
9. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. - Л.: Наука, 1980. - 288 с.
10. Орлов, Д.С. Химия почв / Орлов Д.С. – М.: Изд-во МГУ, 1985. - 376 с.

11. Гришина, Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв / Л.А. Гришина. – М.: МГУ, 1986. - 244с.
12. Ведрова, Э.Ф. Влияние сосновых насаждений на свойствах почв / Э. Ф. Ведрова. - Новосибирск: Наука, 1980. - 104 с.
13. Богатырев, Л.Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах / Л.Г. Богатырев // Почвоведение - 1996. - №4. - С. 501 - 511.
14. Перссон, Х. Динамика тонких корней лесных деревьев / Х. Перссон //Экология. -1985. - №1. - С. 33 – 39.
15. Орлов, Д.С. Запасы, поступление и круговорот органического углерода в почвах России / Д.С. Орлов // Круговорот углерода на территории России. – М., 1999. - С. 271 - 299.
16. Орлов, А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учёта годичного прироста органической массы в толще лесной почвы / А.Я. Орлов // Лесоведение. - 1967. - №1. - С. 64 - 70.
17. Титлянова, А.А. Запасы органического углерода в почвах Западной Сибири / А.А. Титлянова, Г.И. Булавко, Н.П. Миронычева-Токарева, М.Ф. Хвацевская // Почвоведение. – 1994. - №10. - С. 49 - 53.
18. Каверзина, Л.Н. Состав и динамика корневых выделений сосны обыкновенной / Л.Н. Каверзина, С.Г. Прокушкин, Н.Н. Дегерменджи // Лесоведение. – 1981. - №1 – С. 32 – 38.
19. Титлянова, А.А. Режимы биологического круговорота / А.А. Титлянова, М.М. Тесаржова. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – 152 с.
20. Тейт, Р.Ш. Органическое вещество почв / Р.Ш. Тейт. - М.: Мир, 1991. - 396 с.
21. Мухортова, Л.В. Запас и трансформация органического вещества почв под лесными культурами: автор. дис...канд. биол.наук / Л.В. Мухортова. – Красноярск, 2001. - 23 с.

22. Ведрова, Э.Ф. Динамика легкоминерализуемой фракции органического вещества под лесными культурами/ Э.Ф. Ведрова, Л.В. Мухортова // Современные проблемы почвоведения в Сибири. - Томск: ТГУ, 2002. - Т.2. - С. 296 - 299.
23. Ведрова, Э.Ф. Структура органического вещества северотаёжных экосистем Средней Сибири / Э.Ф. Ведрова, Ф.И. Плешиков, В.Я. Каплунов // Лесоведение. - 2002. - №6. - С. 3 - 12.
24. Чагина, Е.Г. О балансе углерода при разложении опада в кедровниках Западного Саяна / Е.Г. Чагина // Вопросы лесоведения. - Красноярск, 1970. - Т. 1. - С. 246 - 252.
25. Кулагина, М.А. Биологическая продуктивность сосняков и круговорот макроэлементов / М.А. Кулагина // Продуктивность сосновых лесов. – М.: Наука, 1978. – С. 90 - 178.
26. Лесная подстилка [Электронный ресурс] : справочник по лесу. – Режим доступа: <http://www.derev-grad.ru/lesovodstvo/lesnaya-podstilka.html>
27. Звягинцев, Д.Г. Вертикально-ярусная организация микробных сообществ лесных биогеоценозов / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Т.Г. Добровольская, Г.М. Зенова, Л.В. Лысак, Т.Г. Мирчинк // Микробиология. - 1993. - Т.62. - Вып. 1. - С. 5 – 35.
28. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1966. – 314 с.
29. Наумов, А.В. Сезонная динамика и интенсивность выделения CO₂ в почвах Сибири / А.В. Наумов // Почвоведение. – 1994. - №12. - С. 77 - 83.
30. Безкоровайная, И.Н. Участие почвенной биоты в деструкции подстилок в лесных культурах / И.Н. Безкоровайная, З.В. Вишнякова // Лесоведение. - 1996. - №2. - С. 53 - 61.
31. Сорокин, Ю.И. Гетеротрофная ассимиляция CO₂ микроорганизмами / Ю.И. Сорокин // Общая биология. - 1961. - Т. 22. - №4. - С. 75 - 83.

32. Berg B. Litter mass-loss rates and decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scots pine forest / B. Berg, G. Ekbohm // *Can J. Bot* Vol. – 1991. – V. 69. – P. 1449 – 1456.
33. Ведрова, Э.Ф. Интенсивность продуцирования углекислого газа при разложении лесных подстилок / Э.Ф. Ведрова, Т.Н. Миндеева // *Лесоведение*. - 1998. - №1. - С. 30 - 41.
34. Fogel R. Effect of habitat and substrate quality on Douglas-fir litter decomposition in western Oregon / R. Fogel, K. Cromack // *Can. J. Bot.* – 1977. - № 55. - P. 1632 - 1640.
35. Schulze E.-D. Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink – a synthesis / E.-D. Schulze, J. Lloyd, F.M. Kelliher, C. Wirth, C. Rebmann // *Global Change Biology*. - 1999. - №5. - P. 703 - 722.
36. Практикум агропочвоведение [Электронный ресурс] файловый архив для студентов. – КрасГАУ. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/2905495/page:6/>
37. Александрова, В.Д. Биологическая продуктивность растительных сообществ арктической пустыни, тундры и лесотундры / В.Д. Александрова // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. - Л.: Наука, 1971. - С. 33 - 42.
38. Добровольский, Г.В. Углерод в почвах и ландшафтах Северной Евразии / Г.В. Добровольский, С.Я. Трофимов, С.Н. Седов // *Круговорот углерода на территории России*. – М.: 1999. - С. 233 - 270.
39. Титлянова, А.А. Прирост болотных растений / А.А. Титлянова, Н.П. Косых, Н.П. Миронычева-Токарева // *Сибирский экологический журнал*. - 2000. - №5. - С. 653 – 658.
40. Ганжара, Н.Ф. О гумусообразовании в почвах чернозёмного типа / Н.Ф. Ганжара // *Почвоведение*. - 1974. - №7. - С. 39 – 43.

41. Прокушкин, С.Г. Динамика водорастворимых веществ при минерализации соснового опада / С.Г. Прокушкин, Л.Н. Каверзина // Лесоведение. – 1992. - №4. – С. 28 - 34.
42. Багаутдинов, Ф.Я. Обновление компонентов гумуса серой лесной почвы и чернозема типичного при длительной гумификации меченых по углероду растительных остатков / Ф.Я. Багаутдинов // Почвоведение. - 1994. - №2. - С. 50 - 56.
43. Кауричев, И.С. Условия образования и масштабы миграции органо-минеральных соединений в почвах таёжной зоны / И.С. Кауричев, Е.М. Ноздрунова // Известия ТСХА. - 1969. - Вып. 3. - С. 103 - 110.
44. Дьяконова, К.В. Методы исследования органических веществ почвенных растворов / К.В. Дьяконова // Почвоведение. - 1967. - №6. - С. 64 - 67.
45. Фокин, А.Д. Участие различных соединений растительных остатков в формировании и обновлении гумусовых веществ почвы / А.Д. Фокин // Проблемы почвоведения. – М.: Наука, 1978. - С. 60 - 64.
46. Караванова, Е.И. Водорастворимое органическое вещество и кислотность почвенных растворов главных типов почв ЦЛГПБЗ. / Е.И. Караванова, Л.А. Белянина, А.А. Степанова // Почвоведение, 2007, №5, С.541-553.
47. Яшихин, Г.И. Гидротермический режим серых лесных почв / Г.И. Яшихин. – Новосибирск:Наука, 1991.-163 с.
48. Шугалей, Л.С. Влияние лесных культур на свойства плантожированной почвы / Л.С. Шугалей // Почвоведение -2002. -№ 3. -С. 345-354.
49. Шилова, Е.И. Состав и свойства лизиметрических вод лесных подзолистых почв Южной Карелии / Е.И. Шилова, А.А. Стрелкова // Почвоведение. - 1974. - №1. - С. 18 - 28.
50. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина - М.: Изд-во Московского университета, 1970. - 489 с.

51. Борцов, В.С. Использование автоматизированной аналитической системы на основе отражательной спектроскопии в исследовании агроценозов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Борцов Владимир Степанович. – Красноярск, 2002. – 26с.

52. Э.Ф. Ведрова, Т.В. Решетникова. Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесобразующих видов Сибири // Лесоведение, 2014. № 1. С. 42-50.

53. Решетникова, Татьяна Валерьевна. Формирование органического вещества почвы в культурах основных лесобразующих пород Сибири: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.08 / Решетникова Татьяна Валерьевна; [Место защиты: Институт леса им.В.Н.Сукачева СО РАН].- Красноярск, 2015.- 197 с.