

УДК 630*182.5 (571.512)

ЗАПАСЫ ФИТОДЕТРИТА И ЕГО БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТВЕННИЧНИКАХ МАЛОГО ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ

С. Г. Прокушкин, А. Е. Петренко, О. А. Зырянова, А. С. Прокушкин

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: stanislav@ksc.krasn.ru, zyryanova-oa@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru, prokushkin@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

В работе отмечены основные источники фитодетрита в ненарушенных лиственничниках криолитозны Центральной Эвенкии. Рассмотрена зависимость распределения запасов фитодетрита и отдельных его компонентов от возраста древостоев (молодняки, спелые и перестойные) и типов леса. Все эти насаждения сформировались на территории малого водосборного бассейна в Центральной Эвенкии после сильных низовых пожаров в начале и в последних десятилетиях XX в. Выявлено неравномерное распределение запасов подстилки как в возрастных группах, так и типах леса. Отмечены существенные погодичные колебания поступления опада за 7-летний период наблюдений. В составе опада преобладает хвоя – 84.8–93.2 % от всей массы, тогда как ветви и кора лиственницы (*Larix Mill.*) и листья березы (*Betula L.*) составляют всего 3.0–3.2, 4.5–2.6 и 7.7–<1 % соответственно. Установлено, что по степени накопления фитодетрита в основных типах лиственничников рассматриваемого бассейна они располагаются в следующем убывающем порядке: багульниково-зеленомошные, бруснично-зеленомошные, кустарничково-зеленомошные. Запасы подстилок в них варьируют от 2.4 до 76.3 т/га. Общий запас подстилки на территории бассейна составляет 133 038 т, из них на лиственничники приходится 103 916 т с преобладанием спелых и перестойных – 4966 и 61 188 т соответственно. В лиственничниках криолитозоны фитодетрит формируется в основном за счет подстилки мохово-лишайникового покрова. Роль опада с надземных органов и мортмассы корней незначительна. Во всех случаях с увеличением возраста древостоев наблюдается возрастание массы подстилки. Выявлена роль отдельных компонентов фитодетрита в депонировании биогенных элементов с существенным преобладанием в них углерода и азота и незначительным содержанием фосфора и калия как дополнительных источников минерального питания в лесных биогеоценозах криолитозоны и отмечена низкая скорость их поступления в почву в процессе минерализации детрита.

Ключевые слова: *лиственничники криолитозоны, типы леса, мортмасса подстилок, компоненты, биогенные элементы.*

DOI: 10.15372/SJFS20220604

ВВЕДЕНИЕ

Для лесных почв северотаежной подзоны Сибири из-за близкого залегания многолетней мерзлоты и низких биологически активных температур характерно существенное ингибирование микробиологических процессов, замедляющее скорость разложения органических остатков (Сорокин и др., 2003, 2017; Sorokin et al., 2017; и др.). Поэтому такие экстремальные условия среды способствуют существенному накоплению

фитодетрита в лиственничниках криолитозоны. Однако, если для древостоев северотаежных лесов имеются достаточно полные сведения о запасах фитомассы (от 30 до 67 т/га, а в оптимальных условиях – до 119 т/га) (Kajimoto et al., 1999; Плешиков и др., 2002), то запасам фитодетрита уделяется несколько меньше внимания и поэтому подобных сведений недостаточно.

Запасы фитодетрита в ненарушенных лиственничниках криолитозоны якутского и эвенкийского секторов формируются в опаде и

подстилке, в основном за счет опада отмерших органов с надземных частей лесных ценозов (древостоя, подлеска, кустарников травяного и мохово-лишайникового покрова) и в мортмассе корней в почве. В них ежегодное поступление опада с надземной части достигает 1.0 – 6.7 т/га, а в отдельные годы – максимума (до 13.9 т/га) (Поздняков, 1975, 1986; Матвеев, 2006; Цветков, 2007; Брянин, Абрамова, 2017), тогда как запасы мортмассы из мохово-лишайникового покрова в этих условиях соизмеримы с общей фитомассой древостоев и варьируют от 0.2–10 до 50 т/га (Прокушкин, Зырянова, 2017).

На основании анализа имеющихся данных следует, что количество отдельных компонентов и вклад их в общий запас фитодетрита в надземной части лесных фитоценозов крайне неравнозначны и определяются типом леса, возрастом и продуктивностью древостоев.

Запасы мортмассы корней почти не известны не только для лиственничников Средней Сибири, но и для древостоев России в целом. Имеются лишь единичные сведения для почв после вырубок и пирогенной гибели древостоев, масса которых почти соизмерима с надземной фитомассой древостоя (Жукова и др., 2008). Для Центральной Эвенкии выявлено, что в неповрежденных лиственничниках количество мертвых корней изменяется в пределах 1.8–5.2 % от фитомассы физиологически активных и тонких проводящих корней (Абаимов и др., 1997), в то время как в южной тайге Красноярского края в 25-летних культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) она составляет только 0.9, а у лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) – 3.8 % от фитомассы тонких корней (Мухортова, 2001).

В целом общий запас фитодетрита в лиственничниках криолитозоны достигает существенных значений и выполняет ряд важных экологических и биологических функций в лесных биогеоценозах (Fukuda, 1994; Schulze et al., 1997). В частности, в нем депонирована и консервирована на десятилетия значительная часть биогенных элементов, которые в зависимости от интенсивности и глубины минерализации и гумификации выщелачиваются из детрита, участвуя в минеральном питании лесных растений, биологическом круговороте веществ и накоплении гумуса в почвах. Однако подобные сведения для лиственничников криолитозоны отсутствуют.

Цель исследования – оценить процессы накопления и распределения запасов фитодетрита

и его биогенных элементов в одном из малых водосборных бассейнов Центральной Эвенкии. Мортмасса отмерших деревьев (валеж и сухой) в работе не учитывалась.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Центральной Эвенкии, где хорошо развита сеть малых водосборных бассейнов площадью от 3.5 до 12 тыс. га и более. В связи с этим в данном регионе при характеристике насаждений, оценке запасов фитодетрита и отдельных его компонентов на больших территориях наряду с известным (стандартным) методом их исследования на пробных площадях целесообразно использовать и бассейновый подход, позволяющий одновременно оценить весь комплекс эколого-фитоценологических условий в изучаемом бассейне (Добровольский, 1999).

Объектами исследования были насаждения лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) в бассейне руч. Кулингдакан (приток р. Кочечум) площадью около 4200 га. Для определения точных координат местонахождения в бассейне площади отдельных выделов и всего водосборного бассейна использовали топографическую карту М 1 : 25 000, которая была оцифрована с помощью ГИС-технологий, в результате чего получены векторные слои с привязкой к масштабу (рис. 1).

На территории бассейна все древостои сформировались после сильных низовых пожаров 1902 г. и в последних десятилетиях XX столетия, они в основном одновозрастные (100–140 и 25–50 лет соответственно), с полнотой 0.4–0.6 и максимальным запасом от 50 до 170 м³/га. Лишь в пойме ручья и пониженных местообитаниях встречаются сохранившиеся отдельные деревья и участки лиственничников допозарной генерации в возрасте 250–360 лет. В целом наиболее продуктивные древостои (IV–V бонитетов) сформировались в средней и верхней частях коренного склона юго-западной экспозиции. На основании анализа распределения насаждений лиственницы по возрастным группам выявлено, что молодняки занимают 57.8 %, перестойные – 38.8, а спелые – лишь 3.4 % от общей площади бассейна (Прокушкин, Зырянова, 2017). Подробные геоботаническая и лесотаксационная характеристики лиственничников в пределах всего водосборного бассейна приведены нами ранее (Прокушкин, Зырянова, 2017). Отмечено, что в

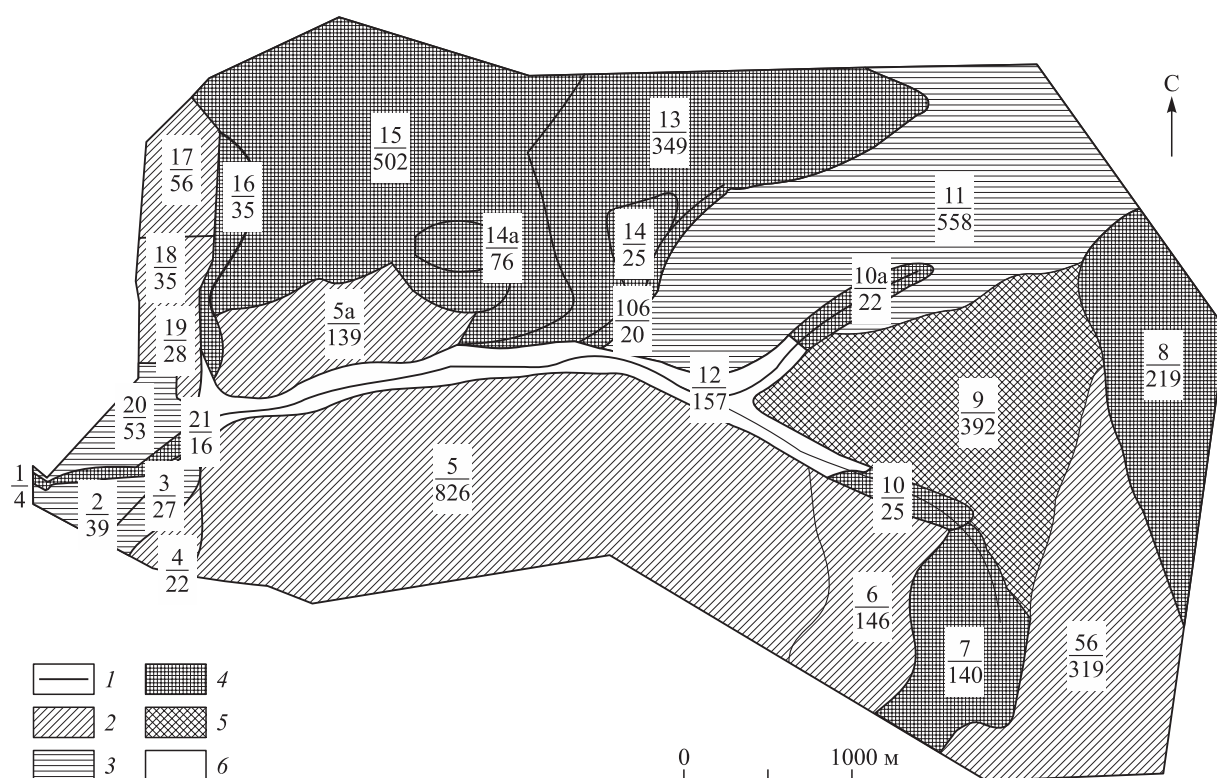


Рис. 1. Распределение насаждений и их площади на водосборном бассейне руч. Кулингдакан.

В числителе – номер выдела; в знаменателе – площадь, га. 1 – поймы ручья; 2 – молодняки (до 40 лет); 3 – спелые (121–160 лет); 4 – перестойные (> 160 лет); 5 – гари; 6 – не покрытые лесом.

бассейне преобладают кустарничково-зеленомошные, багульниково-зеленомошные и бруснично-зеленомошные группы типов лиственничников.

Оценку ежегодного поступления мортмассы опада и его качественного состава проводили в течение 7 лет на двух пробных площадях (пп) в лиственничниках багульниково-бруснично-зеленомошном и бруснично-голубично-моховом, существенно различающихся по экологическим условиям, но однотипных по составу, возрасту, густоте (полноте) и продуктивности древостоев (табл. 1).

По объективным причинам пробные площади заложены в разных водосборных бассейнах: пп 1 находится на северном коренном склоне

рассматриваемого бассейна и состоит из 12 секций площадью по 0.04 га каждая, на которых установлены 36 опадоуловителей, приподнятых над землей, размером 1 × 1 м (по 3 в каждой).

Пп 2 расположена на выположенной поверхности ступени коренного склона северной экспозиции другого водосборного бассейна и состоит из трех секций такой же (0.04 га) площади каждая, где поставлены 18 опадоуловителей – по 4–8 в секции.

Ежегодно в конце вегетации учитывались общая масса опада и его фракционный состав в каждом опадоуловителе.

При оценке поступлений опада на территории бассейна были использованы данные А. М. Матвеева (2006) и П. А. Цветкова (2007),

Таблица 1. Характеристика лиственничников на пробных площадях

№ пп	Тип леса	Возраст, лет	Средние		Полнота сомкнутость	Класс бонитета	Запас, м ³ /га	Сведения
			D, см	H, м				
1	Багульниково-брусничный зеленомошный	103	3.8	4.7	0.4 0.3	Vб	56	Бенькова и др., 2014; Benkova et al., 2015
2	Бруснично-голубичный моховой с подлеском из березы карликовой	105	3.2	3.4	0.3 0.2	Vб	23.4	Kajimoto et al., 2007

характеризующие особенности их распределения в зависимости от типов лиственничников в этом регионе. Оценка поступлений проведена ими по методике Н. П. Курбатского (1970).

Запасы мортмассы подстилок определялись непосредственно в каждом выделе водосборного бассейна. При этом в зависимости от особенностей распределения детрита по площади и размеров выделов методы его определения различались за счет увеличения повторности с 4–6 до 10 и более без разделения на подгоризонты. Площадь учетных площадок составляла 20×25 см. Подробная методика отбора проб подстилки изложена нами ранее (Прокушкин и др., 2008а).

При оценке запасов мортмассы корней лиственницы использовано ранее полученное процентное их содержание от массы поглощающих и тонких проводящих корней (Абаимов и др., 1997; Прокушкин и др., 2008б). Для определения их содержания в почве брались монолиты площадью 20×20 и глубиной 20 см, отмывались и отбирались корни по фракциям: ростовые, проводящие и поглощающие (булавовидные, вильчатые и коралловидные).

Известно, что в процессе разложения фитодетрита для его компонентов характерен разный химический состав и в связи с этим неравномерна скорость их деструкции (Прокушкин и др., 2014; Prokushkin et al., 2014). Вследствие этого происходит и неравномерное поступление биогенных элементов из них в почву. Для оценки роли отдельных компонентов фитодетрита (хвоя, мелкие ветви, шишки лиственницы, подстилка из зелёных мхов (*Bryidae* Engl.) и мелкие корни лиственницы) в данном процессе необходимо было выявить интенсивность поступления биогенных веществ на всей территории изучаемого водосборного бассейна. Для определения скорости разложения собранные компоненты фитодетрита высушивали до воздушно-сухого состояния и определяли их абсолютно сухую массу (а. с. м.). Затем, с учетом их влажности, брались образцы из расчета 30 г а. с. м. в трехкратной повторности и помещали в нейлоновые мешочки с ячейками размером 0.2 мм, открытые с одной стороны, и закладывали в подстилку на глубину 10 см на 10 лет. Ежегодно в конце вегетации определяли а. с. м. изучаемых компонентов и содержание биогенных элементов в них.

В изучаемых фракциях фитодетрита на автоматическом элементном анализаторе (Elementar Vario Maxi CHNS analyzer, Elementar

Analysensysteme GmbH, Германия) определяли содержание общего углерода и азота, а концентрации фосфора и калия – химическим методом после сжигания в серной кислоте (Починок, 1976).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке ежегодного опада органического вещества в приспевающих древостоях лиственницы в течение 7 лет отмечены его существенные погодичные колебания: $30.61\text{--}60.02$ г/м² на пп 1 и $23.23\text{--}31.62$ г/м² на пп 2 (табл. 2). В течение всего изучаемого периода в составе опада преобладала хвоя – $84.8\text{--}93.2$ % от всей массы, тогда как ветви и кора лиственницы и листья березы составили всего $3.0\text{--}3.2$, $4.5\text{--}2.6$ и $7.7\text{--}1$ соответственно (табл. 2).

Среднегодовой опад за 7-летний период достиг 40.8 ± 9.9 г/м² на пп 1 и 28.4 ± 3.3 г/м² – на пп 2, что составляет 0.408 и 0.284 т/га соответственно (табл. 2).

Для оценки общих поступлений опада в рассматриваемых типах лиственничников на территории бассейна использованы литературные сведения по его запасам на единицу площади (т/га) как более массовые и обобщенные для изучаемого региона. Определенные на основе этих данных максимальные поступления опада наблюдали в бруснично-зеленомошных и багульниково-зеленомошных типах лиственничников, где они достигали 3657.7 и 2395 т соответственно, в то время как в кустарничково-зеленомошных группах лиственничников, характеризующихся высоким содержанием опада на единицу площади (до 2.20 т/га), но занимающих небольшую территорию в бассейне, его запасы были минимальными и составляли всего 1344.2 т. В целом на всей территории бассейна поступления опада с наземной части фитоценозов достигали 7397 т (табл. 3).

При оценке распределения подстилок в лиственничниках отмечена особенность, характерная для насаждений криолитозоны – высокая неравномерность их мощности и запасов на территории, определяемая специфичностью гидротермических и фитоценологических условий. Запасы подстилок в бассейне существенно варьировали от 2.4 до 76.3 т/га. (рис. 2). Минимальные их запасы (от 0.2 до 10 т/га) отмечены в молодняках на 37 % территории водосбора.

На площади более 28 %, занятой спелыми и перестойными (пойменными) лиственничниками с мощным слоем сфагновых (*Sphagnopsida*

Таблица 2. Ежегодная масса опада на пробных площадях изучаемых лиственничников

Номер шп	Масса опада, г/м ²								Фракционный состав опада, %			
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя	Хвоя Лпц*	Ветви Лпц	Кора Лпц	Листья душеки (<i>Duschekia Opiz</i>), березы (<i>Betula L.</i>)
1	37.13 ± 12.81**	60.02 ± 53.24	38.63 ± 7.75	39.19 ± 13.03	46.46 ± 17.48	33.32 ± 9.87	30.61 ± 10.69	40.8 ± 9.9	84.8	3.0	4.5	7.7
2	24.13 ± 8.38	23.23 ± 8.32	30.45 ± 9.57	30.28 ± 10.57	31.62 ± 9.64	28.88 ± 7.92	30.39 ± 11.48	28.4 ± 3.3	93.2	3.2	2.6	<1

* Лпц – лиственница.

** Среднеквадратическое отклонение.

Ошуга) и зеленых мхов (до 20–25 см), наблюдается существенное накопление подстилки – более 50 т/га (рис. 2), что обусловлено в основном высокой влажностью и низкой температурой почвы, а также длительным отсутствием пожарного воздействия.

Распределение запасов подстилок по типам леса и возрастным группам на территории бассейна также крайне неравномерно. Так, максимальное их количество отмечено в багульниково-зеленомошных лиственничниках – 59 824 т, тогда как в кустарничково-зеленомошных и бруснично-зеленомошных насаждениях оно в 1.6–1.7 раза меньше – 37 496 и 35 718 соответственно. Общий запас подстилки на территории бассейна составляет 133 038 т (табл. 4).

Преобладающая часть запаса подстилки в лиственничниках (103 916 т) приходится на спелые и перестойные лиственничники – 4966 и 61 188 т соответственно (табл. 5).

В послепожарных молодняках, несмотря на занимаемые ими большие площади, запасы подстилки составляют всего 37 762 т. Запасы подстилки на не покрытых лесом площадях (вырубки и гари) – 29 121 т (табл. 4). В среднем ее запасы в бассейне составили 37.2 ± 4.9 т/га, что свидетельствует о низкой скорости минерализации детрита на почвах с неблагоприятными гидротермическими условиями в регионе.

Другим важным, но мало изученным источником фитодетрита в лесных ценозах являются корневые системы древесных пород. В криолитозоне Центральной Эвенкии лиственница Гмелина формирует поверхностную корневую систему. При этом основная часть (до 90 %) физиологически активных и мелких проводящих корней сосредоточена в подстилке и верхнем слое почвы 0–20 см. Среди этих фракций в основном и наблюдаются процессы отмирания корней, скорость которых зависит не только от условий произрастания, но и от возраста корневых окончаний. В целом мортмасса отмерших окончаний во всех случаях невелика и составляет, как было отмечено ранее, менее 6 % от всей фитомассы мелких корней (Абаимов и др., 1997). Мортмасса мелких корней существенно различается в разных типах лиственничников: в кустарничково-зеленомошных она составляет 5.2 %, в бруснично-зеленомошных и багульниково-зеленомошных – 3.0 и 1.8 % соответственно (Прокушкин и др., 2008а). Такой градиент совпадает с изменением температуры почвы на глубине 20 см в этих типах леса (Прокушкин и др., 2002), а также объясняется

Таблица 3. Масса опада в отдельных типах лиственничников

Тип леса	Число выделов	Площадь, га	Масса*, т а.с.м./га	Масса на выделах, т
Кустарничково-зеленомошный	8	611	2.20	1344.2
Бруснично-зеленомошный	7	1956	1.87	3657.72
Багульниково-зеленомошный	9	1114	2.15	2 395.1
Всего...	24	3681		7397.02

* По данным А. М. Матвеева (2006) и П. А. Цветкова (2007).

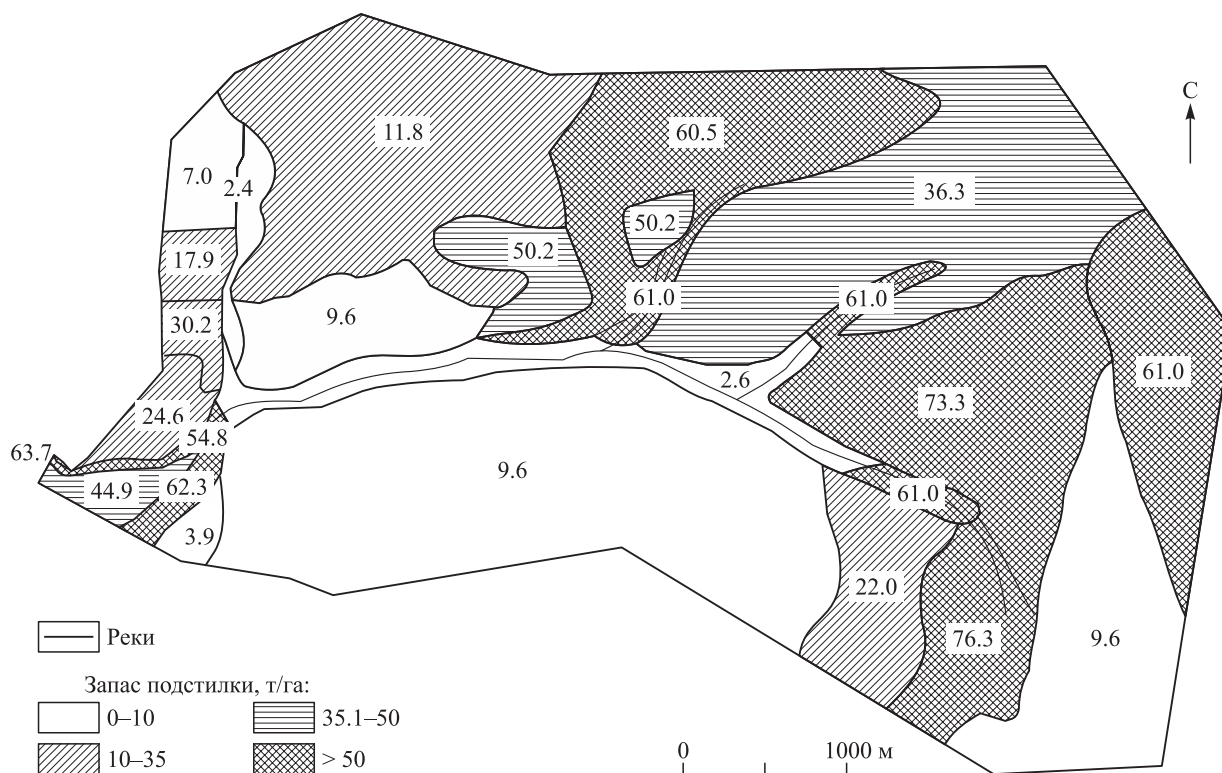


Рис. 2. Распределение запасов подстилки на территории водосборного бассейна.

Таблица 4. Запасы подстилки в отдельных типах лиственничников и на не покрытых лесом площадях

Тип леса	Число выделов	Площадь, га	Запас, т а. с. м./га	Запас в типах леса, т
Кустарничково-зеленомошный: лиственничник	8	376	2.41–76.34	8778
гарь	1	392	73.26	28 718
Бруснично-зеленомошный	7	1956	3.90–44.94	35 718
Багульниково-зеленомошный: лиственничник	9	1349	7.02–73.26	59 421
вырубка	1	157	2.57	403
Всего ...	26	4230		133 038

Таблица 5. Запасы подстилки в отдельных возрастных группах лиственничников

Возрастная группа	Число выделов	Площадь, га	Запас, т а. с. м./га	Запас в группе, т а. с. м.
Молодняки (до 40 лет)	9	2129	3.90–36.34	37 762
Спелые (121–160 лет)	4	123	24.06–63.70	4966
Перестойные (старше 160 лет)	11	1429	2.41–76.34	61 188
Всего ...		3681		103 916

Таблица 6. Мортмасса корней лиственницы в лиственничниках

Тип леса	Число выделов	Площадь, га	Запас*, кг а. с. м./га	Запас на выделах, т а. с. м.
Кустарничково-зеленомошный	8	611	140 ± 80	85.5
Бруснично-зеленомошный	7	1956	140 ± 80	273.9
Багульниково-зеленомошный	9	1114	100 ± 20	111.4
В с е г о...	24	3681		470.8

* В подстилке и слое почвы 0–20 см.

большой продолжительностью жизни мелких корней и, вероятно, энергосбережением на их новообразование в данных условиях.

В бассейне максимальные запасы фитодетрита корней отмечены в бруснично-зеленомошных и багульниково-зеленомошных типах лиственничников, а минимальные – в кустарничково-зеленомошных, что обусловлено их незначительной площадью, несмотря на высокий процент отмерших корней (до 5.2 %). В целом общий запас мортмассы корней в бассейне составляет 470.8 т (табл. 6).

По сравнению с запасами фитодетрита опада и особенно подстилки, мортмасса корней невелика, но их роль в почвообразовании и биологическом круговороте веществ значительна, особенно после низовых пожаров в Центральной Эвенкии, вызывающих массовое отмирание корней в верхних горизонтах почвы (рис. 3).

Общий запас фитодетрита в кустарничково-зеленомошных типах лиственничников – 38 926 т, в бруснично-зеленомошных – 39 649 т, в багульниково-зеленомошных – 62 330 т, а в целом на всей территории бассейна достигает 140 906 т, из которых 7397 т опада, 133 038 т подстилки, 471 т корней (рис. 3). В этих компонентах депонируется значительная часть биогенных элементов, освобождающихся в процессе длительной деструкции мортмассы в этих

экстремальных условиях (Шибарева, 2004; Матвеев, 2006; Решетникова, 2011; Брянин, Абрамова, 2017; и др.).

Проведенный анализ химического состава показал, что в результате оттока (реутилизации) биогенных элементов из отмирающих органов растений их концентрация в отдельных компонентах фитодетрита значительно снижена. При этом минимальные концентрации углерода наблюдаются лишь в подстилке (29.9 %), в других компонентах его содержание остается на высоком уровне – от 47.0 до 50.6 % а. с. м. Концентрация азота довольно высокая во всех компонентах, лишь резко снижается только в шишках лиственницы. Концентрация фосфора и калия во всех компонентах мортмассы очень низкая и составляет для фосфора 0.03–0.14, для калия – 0.03–0.25 % а. с. м (табл. 7).

На основании выявленных концентраций углерода, азота, фосфора и калия в отдельных компонентах фитодетрита были рассчитаны их запасы в лиственничниках бассейна (рис. 4). Установлено, что в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири подстилка, как и в других лесорастительных зонах, является главным аккумулятором всех рассматриваемых биогенных элементов (Шибарева, 2004; Решетникова, 2011; и др.). В ней депонируется в основном углерод, составляющий 39 778 т (91.5 % от всего запаса

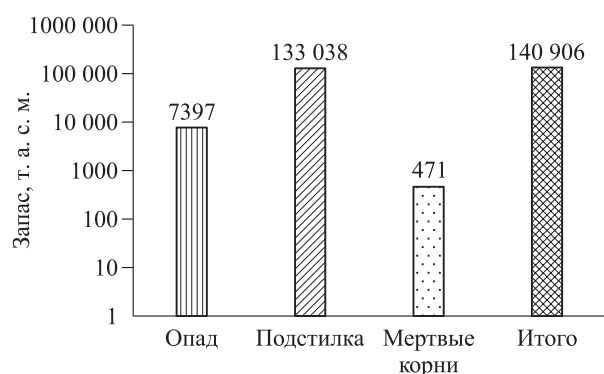


Рис. 3. Запасы отдельных компонентов фитодетрита в лиственничниках водосборного бассейна.

Таблица 7. Концентрация биогенных элементов в отдельных компонентах фитодетрита багульниково-зеленомошного лиственничника, % а. с. м.

Компоненты	С	Н	Р	К
Опад:				
хвоя	47.0	0.87	0.08	0.19
ветви	50.6	0.44	0.13	0.25
Шишки Лц	48.9	0.34	0.03	0.09
Подстилка (зеленые мхи)	29.9	0.74	0.06	0.20
Корни Лц	47.0	0.67	0.14	0.24

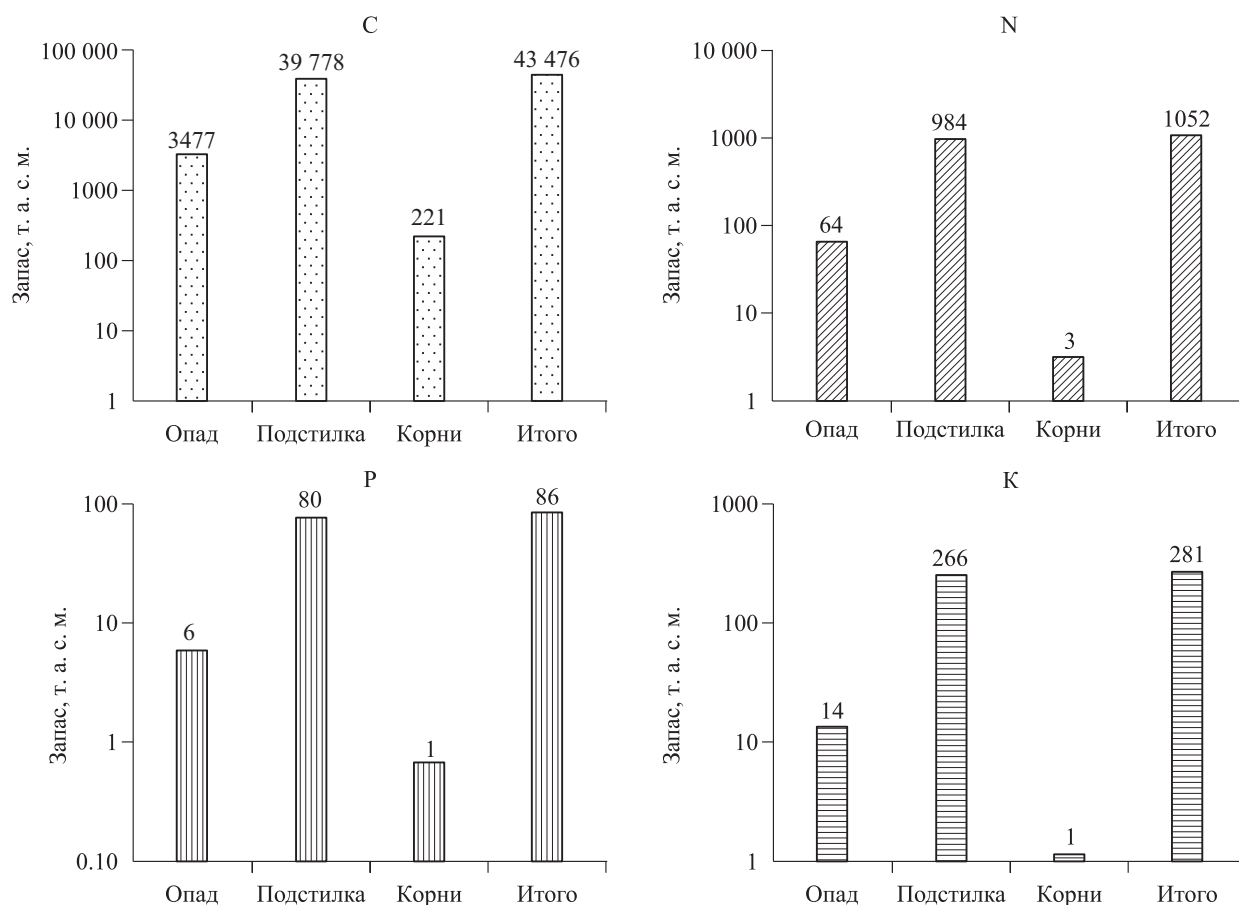


Рис. 4. Запасы углерода (C), азота (N), фосфора (P) и калия (K) в фитодетрите лиственничников.

* При расчете запасов биогенных элементов в опаде использовали их концентрацию в хвое, так как содержание последней составляет 84,8–93,2 % от всей массы опада.

са в фитодетрите в бассейне), в то же время его накопление в опаде и особенно в корнях существенно меньше и составляет 3477 т (8,0 %) и 221 т (0,51 %) соответственно.

Содержание азота в опаде, подстилке и особенно в корнях значительно меньше, чем углерода, и он также преобладает в подстилке (93,6 %). Общий запас азота в фитодетрите лиственничников на территории бассейна составляет 1052 т (рис. 4).

В мортмассе корней отмечены небольшие запасы фосфора и калия – 0,66 и 1,13 т соответственно, что составляет 0,76 и 0,40 % от их запасов в бассейне (рис. 4). В остальных компонентах фитодетрита запас этих элементов также незначительный, но несколько выше, чем в корнях и составляет 86 и 280 т для фосфора и калия соответственно.

В целом в мортмассе лиственничников в наибольшей степени депонируются углерод и азот, которые в дальнейшем являются важным дополнительным источником питания в лесных экосистемах криолитозоны.

Ранее нами в модельных опытах было установлено, что в процессе деструкции фитодетрита скорость минерализации и выщелачивания из него биогенных элементов зависит от экологических условий в фитоценозах и компонентного состава мортмассы (Прокушкин и др., 2014; Prokushkin et al., 2014). Так, в бруснично-зеленомошном лиственничнике с более высокой температурой почвы интенсивность минерализации органического вещества и поступление азота и углерода на 10–15 % выше, чем в кустарничково-сфагново-зеленомошном (табл. 8).

Анализ потерь азота и углерода из отдельных компонентов опада в течение 9 лет разложения показал, что динамика их поступления в почву на обоих участках однотипна и различается лишь по абсолютным значениям за счет разной скорости минерализации отдельных его фракций. Отмечено, что максимальное поступление азота идет из хвои, корней и ветвей (3,64–8,36 г а. с. м. /кг образца), а углерода – из веток, хвои, шишек и корней (370,43–519,49 г/кг массы образца). Минимальный же их вынос происхо-

Таблица 8. Потери азота и углерода из отдельных компонентов фитодетрита за 9 лет минерализации, г а. с. м./кг

Элемент питания	Хвоя	Ветви	Подстилка	Корни	Шишки	Итого
Кустарничково-сфагново-зеленомошный лиственничник						
N	6.03	3.64	2.54	5.33	2.17	19.71
C	370.43	469.21	155.2	392.26	353.25	1740.35
Бруснично-зеленомошный лиственничник						
N	8.36	4.29	3.16	5.58	2.86	24.25
C	459.13	519.49	163.12	418.15	425.97	1985.86

дит из подстилки (табл. 8). В связи с этим роль отдельных компонентов опада в биологическом круговороте в лиственничниках криолитозоны различна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фитодетрит на территории водосборного бассейна в Центральной Эвенкии в основном формируется за счет подстилки мохово-лишайникового покрова, роль опада и мортмассы корней незначительна. По степени накопления фитодетрита изучаемые типы лиственничников бассейна располагаются в следующем убывающем порядке: багульниково-зеленомошные (62 330 т), бруснично-зеленомошные (39 649 т), кустарничково-зеленомошные (38 926 т). В кустарничково-зеленомошных лиственничниках отмечены самые высокие (76.3 т/га) запасы подстилки на единицу площади. Во всех случаях с увеличением возраста древостоев наблюдается возрастание массы подстилки.

Таким образом, выявлены существенные различия в накоплении и распределении фитодетрита и его компонентов в отдельных типах лиственничников и их возрастных группах. При этом степень накопления мортмассы в них определяется также и гидротермическими условиями, влияющими на скорость и глубину деградации.

Среди рассматриваемых биогенных элементов в фитодетрите лиственничников преобладают углерод и азот. Количество фосфора и калия незначительно. Наиболее существенная роль в аккумуляции углерода и азота в мортмассе принадлежит подстилке, опаду хвои и корням.

В условиях криолитозоны процессы деградации фитодетрита и выщелачивания из него биогенных элементов происходят очень замедленно: за 9 лет в зависимости от экологических условий и фракционного состава мортмассы в почву в целом поступает 19.7–24.3 г/кг азота и 1740.4–1985.9 г/кг углерода.

Исследования выполнены в рамках государственного задания № 0287-2021-0010 ФИЦ КНЦ СО РАН

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А., Каверзина Л. Н. Особенности формирования и функционирования лиственничных лесов на мерзлотных почвах // Лесоведение. 1997. № 5. С. 13–23.
- Бенькова В. Е., Зырянова О. А., Шапкин А. В., Бенькова А. В., Собачкин Д. С., Симанько В. В., Зырянов В. И. Влияние пространственной мозаичности мохово-лишайникового покрова на радиальный рост лиственницы Гмелина (Центральная Эвенкия) // Лесоведение. 2014. № 4. С. 41–49.
- Брянин С. В., Абрамова Е. Р. Опад фитомассы в постпирогенных лиственничниках Зейского заповедника (Верхнее Приамурье) // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 93–101.
- Добровольский Г. В. Научное и практическое значение исследований речных бассейнов // Экология речных бассейнов: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Владимир: Владиформэкоцентр, 1999. С. 9–10.
- Жукова А. И., Григорьев И. В., Григорьева О. И., Ледеява А. С. Лесное ресурсоведение. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 215 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Матвеев А. М. Запасы лесных горючих материалов и их географическая изменчивость в криолитозоне Средней Сибири // Геогр. и природ. ресурсы. 2006. № 4. С. 54–57.
- Мухоморова Л. В. Запас и трансформация органического вещества почвы под лесными культурами: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2001. 256 с.
- Плешиков Ф. И., Каплунов В. Я., Токмаков С. В., Беньков А. В., Титов С. Д., Первушин В. А. Структура фитомассы и годовая продукция северных лесов // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 73–91.
- Поздняков Л. К. Даурская лиственница. М.: Наука, 1975. 312 с.
- Поздняков Л. К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 192 с.

- Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наук. думка, 1976. 334 с.
- Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Оценка запасов фитомассы в лиственничниках Центральной Эвенкии (на примере малого водосборного бассейна) // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 9 (132). С 122–128.
- Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Прокушкин А. С. Температурный режим в лиственничниках на мерзлотных почвах // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 34–45.
- Прокушкин С. Г., Абаимов А. П., Прокушкин А. С. Структурно-функциональные особенности лиственницы Гмелина в криолитозоне Центральной Эвенкии. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008а. 161 с.
- Прокушкин С. Г., Токарева И. В., Прокушкин А. С. Запас и потери водорастворимого органического вещества в малом водосборном бассейне Центральной Эвенкии // Лесоведение. 2008б. № 6. С. 30–36.
- Прокушкин С. Г., Прокушкин А. С., Сорокин Н. Д. Интенсивность разложения отдельных компонентов фитодетрита в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Изв. РАН. Сер. биол. 2014. № 1. С. 76–92.
- Решетникова Т. В. Лесные подстилки как депо биогенных элементов // Вестн. КрасГАУ, 2011. № 12 (63). С. 75–82.
- Сорокин Н. Д., Прокушкин С. Г., Пашенова Н. В., Евграфова С. Ю., Гродницкая И. Д., Полякова Г. Г. Микробиологическая трансформация растительных остатков и динамика углерода в бореальных лесах Сибири // Лесоведение. 2003. № 5. С. 18–24.
- Сорокин Н. Д., Александров Д. Е., Гродницкая И. Д., Евграфова С. Ю. Микробиологическая трансформация соединений углерода и азота в лесных почвах Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2017. № 4. С. 490–496.
- Цветков П. А. Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, ИЛ СО РАН, 2007. 252 с.
- Шибарева С. В. Запасы и элементный состав подстилок в лесных и травяных экосистемах Сибири: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.27. Новосибирск: Ин-т почвовед. и агрохим. СО РАН, 2004. 190 с.
- Benkova V. E., Zyryanova O. A., Shashkin A. V., Benkova A. V., Sobachkin D. S., Simanko V. V., Zyryanov V. I. Influence of moss and lichen spatial mosaics on radial growth of Gmelin Larch (Central Evenkia) // Contemp. Probl. Ecol. 2015. V. 8. Iss. 7. P. 854–861. (Original Rus. Text © V. E. Benkova, O. A. Zyryanova, A. V. Shashkin, A. V. Benkova, D. S. Sobachkin, V. V. Simanko, V. I. Zyryanov, 2014, publ. in Lesovedenie. 2014. N. 4. P. 41–49).
- Fukuda M. Occurrence of ice-complex (Edoma) in Lena river delta region and big Lhyavosky Island, high Arctic Eastern Siberia // Proc. Second Symp. Joint Sib. Permafrost Stud. between Japan and Russia in 1993. Tsukuba: Isebu, 1994. P. 5–13.
- Kajimoto T., Matsuura Y., Sofronov M. A., Volokitina A. V., Mori S., Osawa A., Abaimov A. P. Above- and below-ground biomass and primary productivity of a *Larix gmelinii* stand near Tura, central Siberia // Tree Physiol. 1999. V. 19. Iss. 12. P. 815–822.
- Kajimoto T., Osawa A., Matsuura Y., Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Kondo K., Tokuchi N., Hirobe M. Individual-based measurement and analysis of root system development: case studies for *Larix gmelinii* trees growing on the permafrost region in Siberia // J. For. Res. 2007. V. 12. Iss. 2. P. 103–112.
- Prokushkin S. G., Prokushkin A. S., Sorokin N. D. The intensity of phytodetrite decomposition in larch forest of the permafrost zone in Central Siberia // Biol. Bull. 2014. V. 41. Iss. 1. P. 89–97 (Original Rus. Text © S. G. Prokushkin, A. S. Prokushkin, N. D. Sorokin, 2014, publ. in Izv. RAN. Ser. Biol. 2014. N. 1. P. 76–85).
- Schulze E.-D., Wirth C., Rebmann C., Vygodskaya N. N., Kelliher E. M., Valentini R. Carbon assimilation and growth of pine forest in Central Siberia // Abstr. Workshop on spatial-temporal dimensions of high-latitude ecosystem change (The Siberian IGBP Transect), 1–7 Sept., 1997, Krasnoyarsk, Russia. Krasnoyarsk: V. N. Sukachev Inst. For. Rus. Acad. Sci., Sib. Br., 1997. P. 29–30.
- Sorokin N. D., Aleksandrov D. E., Grodnitskaya I. D., Evgrafova S. Y. Microbiological transformation of carbon and nitrogen compounds in forest soils of Central Evenkia // Euras. Soil Sci. 2017. V. 50. Iss. 4. P. 476–482 (Original Rus. Text © N. D. Sorokin, D. E. Aleksandrov, I. D. Grodnitskaya, S. Y. Evgrafova, 2017, publ. in Pochvovedenie. 2017. N. 4. P. 490–496).

STOCKS OF PHYTODETRITE AND ITS BIOGENIC ELEMENTS IN LARCH FORESTS IN SMALL WATERSHEAD BASIN OF CENTRAL EVENKIA

S. G. Prokushkin, A. E. Petrenko, O. A. Zyryanova, A. S. Prokushkin

*V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: stanislav@ksc.krasn.ru, zyryanova-oa@ksc.krasn.ru, alcorsci@bk.ru, prokushkin@ksc.krasn.ru

The article notes the main sources of phytodetritus in undisturbed cryolithic larch forests of Central Evenkia. The features of the distribution of phytodetritus stocks and its individual components depending on the age of forest stands (young, mature and overmature) and forest types are considered. All these stands were formed on the territory of a small drainage basin in Central Evenkia after intensive ground fires in the early and last decades of the 20th century. An uneven distribution of litter stocks was revealed both in age groups and forest types. Significant annual fluctuations in litter stocks over 7-year observation period were also noted. The composition of the litter is dominated by needles – 84.8–93.2% of the total mass, while the branches and bark of larch (*Larix* Mill.) and birch (*Betula* L.) leaves account for only 3.0–3.2, 4.5–2.6, and 7.7–< 1 %, respectively. It was established that according to the degree of accumulation of phytodetritus in the main types of larch forests of the basin under consideration, they are arranged in the following descending order: ledum green moss, red berry green moss, shrub green moss. Litter stocks in them vary from 2.4 to 76.3 t/ha. The total stock of litter in the territory of the basin is 133038 tons, of which 103916 tons fall on larch forests, with a predominance of mature and overmature – 4966 and 61188 tons, respectively. In larch forests of the permafrost zone, phytodetritus is formed mainly due to the litter of the moss-lichen cover. The role of litter from aboveground organs and root mortmass is insignificant. In all cases, with an increase in the age of forest stands, an increase in the mass of the litter is observed. The role of individual components of phytodetritus in the deposition of biogenic elements was revealed, with a significant predominance of carbon and nitrogen in them and an insignificant content of phosphorus and potassium as additional sources of mineral nutrition in forest biogeocenoses of the permafrost zone, and a low rate of their entry into the soil in the process of detritus mineralization was noted.

Keywords: *larch forests of cryolithic zone, forest types, litter mortmass, components, biogenic elements*

How to cite: Prokushkin S. G., Petrenko A. E., Zyryanova O. A., Prokushkin A. S. Stocks of phytodetrite and its biogenic elements in larch forests in small watershed basin of Central Evenkia // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 34–44 (in Russian with English abstract and references).