

УДК 630.935.4\*338.14

## ПОТЕРИ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НИЗОВЫХ ПОЖАРАХ В СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ И ПРИСПЕВАЮЩИХ СОСНЯКАХ

Климчик Г.Я., Бельчина О.Г., Толкач И.В.

Учреждение образования

«Белорусский государственный технологический университет»  
(г. Минск, Беларусь)

*Рассмотрено влияние лесных пожаров различной интенсивности на нижние ярусы растительности, подрост, опад и лесную подстилку средневозрастных и приспевающих сосновых насаждений. Определены запасы лесных горючих материалов и их потери при пожарах. Рассчитаны выбросы диоксида углерода, потери азота и зольных элементов при прохождении низовых пожаров средней и слабой интенсивности.*

**Ключевые слова:** лесной пожар; выброс диоксида углерода; потери при пожаре; лесная подстилка; травяно-кустарничковый ярус.

### LOSSES OF MACROELEMENTS DURING GROUND FIRES IN MIDDLE-AGED AND MATURING PINE FORESTS

Klimchik G.Ya., Belchina O.G., Tolkach I.V.

*The influence of forest fires of different intensity on the lower tiers of vegetation, undergrowth, litter and forest litter of middle-aged and maturing pine stands is considered. The reserves of forest combustible materials and their losses during fires are determined. Carbon dioxide emissions, nitrogen and ash element losses during ground fires of medium and low intensity are calculated.*

**Keywords:** forest fire; carbon dioxide emissions; fire losses; forest litter; grass-shrub layer.

### ВВЕДЕНИЕ

Леса занимают значительную часть (9,76 млн га) [1] территории Республики Беларусь, где возможно возникновение пожаров в природных экосистемах. Лесистость территории продолжает расти и составляет 40,1 %. Государственный лесной фонд республики, в котором преобладают сосновые леса имеет высокую пожарную опасность. В составе лесов доминирующее положение занимают хвойные породы (57,2 %), в том числе сосняки – 48,1 % и ельники – 9,0 %.

Вероятность возникновения и развития лесных пожаров в сосновых лесах колеблется в значительных пределах. Это обусловлено широким экологическим ареалом их распространения. Они располагаются на повышенных элементах рельефа, имеют относительно невысокую сомкнутость полога

и полноту, доминирование в живом напочвенном покрове различных видов лишайников, мхов и вереска обыкновенного, в опаде и подстилке – хвои, мелких сучьев и шишек, что способствует быстрому накоплению и созреванию лесных горючих материалов, возникновению и распространению пожаров. В зависимости от условий возникновения, частоты загораемости, степени пожароустойчивости и по возможному характеру распространения в них пожаров сосновые леса поделены на три группы [2]. Так, легкозагораемых сосновых лесов в Республике Беларусь около 39 %, умереннозагораемых – 47,5 %, труднозагораемых – 13,5 % формаций [1].

Происходящие ежегодно лесные пожары в лесном фонде Республики Беларусь и наносимый ими ущерб невозможно оценить в полном объеме. Если цену погибшего древостоя, сгоревшей заготовленной древесины еще можно оценить и рассчитать [3, 4], то потери экологических функций поврежденных экосистем практически невозможно.

Поэтому, по мнению ряда российских ученых [5, 6] охрана лесов требует экономического обоснования, которое определило бы соотношение между затратами на профилактику и тушение пожаров с вероятным экономическим, лесоводственным и экологическим ущербом от них.

Экономическая оценка последствий лесных пожаров с учетом наносимого экологического ущерба требует оперативного картографирования границ гарей. Перспективным направлением ограничения площадей выгоревших лесных участков является использование материалов космических съемок, а также воздушных съемок с пилотируемыми или беспилотными летательными аппаратами в видимом и инфракрасном диапазонах. На данном этапе описано около 150 различных спектральных индексов, часть из которых, успешно использовалась разными авторами для картографирования изменений лесного фонда, однако только некоторые из них могут быть использованы для оценки границ пожаров, а вопрос систематизации имеющихся сведений и разработки специализированных спектральных индексов для оперативного картографирования лесных пожаров является по прежнему актуальным.

Общеизвестной мировой проблемой в настоящее время стало изменение климата, которое связано с увеличением в атмосфере диоксида углерода. По исследованиям российских и белорусских ученых, выполнение лесами функций депонирования и сохранение (консервации) связанного углерода, снижение эмиссии парниковых газов в атмосферу может служить одним из основных факторов предотвращения негативных изменений климата [6–11].

Лесные пожары играют все более значительную роль в глобальном круговороте углерода, усиливая антропогенное изменение климата.

Исследование биосферной роли лесных пожаров, оценка их воздействия на эмиссию углерода, структуру и функционирование лесов, разработка методик эколого-экономической оценки последствий лесных пожаров является одной из основных задач лесоводов на современном этапе.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Лесные пожары оказывают влияние на все компоненты биогеоценозов. Характер воздействия их на древостой довольно широко освещен в работах отечественных и зарубежных ученых. Разработаны методики учета прямого ущерба, причиняемого пожарами, где в настоящее время нет единых подходов и принципов его оценки. Неоцененный в настоящее время ущерб от лесных пожаров проявляется в уничтожении подроста и подлеска хвойных пород, живого и неживого напочвенного покрова, микрофлоры, снижении запасов органического вещества в компонентах биогеоценозов, ослаблении экологических функций, загрязнении окружающей среды.

В связи с этим объектами наших исследований являются нижние ярусы лесной растительности, подстилка и опад сосновых насаждений.

Цель работы установить потери органического вещества, азота и зольных элементов, выбросов углерода при пожарах различной интенсивности в сосновых насаждениях на примере Борисовского опытного лесхоза.

Характеристика объектов исследования приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений на пробных площадях

Лесничество	Кв. выд	Состав	Возраст, лет	Средние		Тип леса	Бонитет	Средняя высота нагара, м	Площадь, га	Подрост
				Д. см	Н. м					
Пруд-Бранское	<u>28</u> 22, 34	10С	57	18.7	18.8	<u>С. мш.</u> A <sub>2</sub>	<u>II</u> 0,91	0,15	0,19	–
Зембинское	<u>46</u> 24	10С+Б	77	22.9	19.1	<u>С. мш.</u> A <sub>2</sub>	<u>II</u> 0,78	0,48	0,3	–
Пригородное	<u>87</u> 2	9С1Е+Б	87	33.6	25.4	<u>С. кис.</u> C <sub>2</sub>	<u>I</u> 1,0	0,73	0,4	10Е 1,5 тыс.шт/га
Печанское	<u>84</u> 7	10С	77	24.4	26.2	<u>С. мш.</u> A <sub>2</sub>	<u>I</u> 0,59	0,58	0,4	–
Кортайское	<u>126</u> 8	10С	92	30.7	28.4	<u>С. мш.</u> A <sub>2</sub>	<u>I</u> 0,76	0,69	0,5	10Е 1,5 тыс.шт/га
Брилевское	<u>6</u> 7	10С	52	21.0	21.3	<u>С. оп.</u> B <sub>2</sub>	<u>I<sup>a</sup></u> 0,6	0,33	0,2	–

При проведении исследований использованы общепринятые в лесоводстве и лесной таксации методики [12–14]. В настоящее время из существующего

многообразия методических подходов к оценке экологических функций леса ряд авторов [7–11] наиболее перспективным считают метод основанный на оценке величины депонирования диоксида углерода.

Для определения запасов углерода депонированного различными компонентами лесного фитоценоза использовались методики [15, 16], а его потерю разработанные ранее методики авторов статьи [17–20].

Накопление органического вещества, углерода и зольных элементов в живом напочвенном покрове (ЖНП) и подстилке и их долевое участие определяли через их массу в абсолютно сухом состоянии, а для определения массы лесных горючих материалов приходящихся на единицу площади использованы материалы пробных площадей и предложенная ранее нами методика [17–20].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Леса Борисовского опытного лесхоза имеют относительно невысокий средний класс пожарной опасности – 3,0, что обусловлено значительным участием в составе лесов лиственных насаждений (26 %), наличием избыточно-увлажненных земель (11,6 %) и возрастной структурой древостоев. Средневозрастные насаждения занимают 51,3 %, приспевающие – 19,9 %, спелые и перестойные – 4,2 % покрытых лесом земель. Несмотря на это в период с 1996 по 2022 год на его территории произошло 329 случаев возникновения пожаров на площади 144,9 га. Средняя площадь пожара составила – 0,44 га [21, 22].

На характер огневого воздействия и послепожарные изменения в насаждениях влияют различные факторы природного и антропогенного характера. Непосредственное влияние пожара на древостой проявляется в нанесении огневых повреждений. Он редко погибает полностью при низовых пожарах, в большинстве случаев происходит отпад деревьев в зависимости от интенсивности пожара и возраста древостоя [4 и др.].

Довольно существенное влияние пожары оказывают на напочвенный покров, опад и лесную подстилку, которые являются проводниками горения и полностью или частично гибнут при лесных пожарах различной интенсивности.

Усиление антропогенного воздействия на леса влечет за собой рост количества пожаров, что приводит к их повреждению и уничтожению, а также существенным изменениям глобальных балансов углерода, загрязнения атмосферы и т.д.

В результате воздействия огня сохранность и восстановление живого напочвенного покрова и подстилки зависит от различных факторов (глубины залегания корневых систем, количества почек возобновления, защиты их подстилкой в верхнем горизонте почвы, влажности почвы и т.д.).

Исследования проведены в основном чистых, средневозрастных, приспевающих и спелых древостоях, пройденных низовыми пожарами различной интенсивности (таблица 1). По результатам работ были установлены запасы живого напочвенного покрова, подстилки и подроста. В таблице 2 приведены усредненные результаты запасов и потерь биомассы сухого вещества.

Таблица 2 – Средние запасы и потери биомассы сухого вещества кг/га

Компоненты насаждения	Запасы сухого вещества	Потери при пожаре слабой интенсивности	Потери при пожаре сильной интенсивности
Травяно-кустарничковый ярус	980	300	380
Мохово-лишайниковый ярус	1030	320	480
Подстилка	12460	3738	5233
Подрост	1100	–	1100

Нами рассчитаны потери органического вещества, зольных элементов, выбросы углерода компонентами сосновых насаждений в зависимости от интенсивности пожара. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Потери органического вещества, углерода и элементов питания кг/га

Компоненты насаждения	Маса сухого вещества	C	N	P	K	Ca	Mg
Пожар слабой интенсивности							
Лесная подстилка	3738	1603	41,1	18,9	37,7	78,6	17,6
Травяно-кустарничковый ярус	300	149	7,8	1,6	7,3	10,8	1,2
Мохово-лишайниковый ярус	320	159	8,3	1,7	7,8	11,6	1,3
Итого с пожара слабой интенсивности	4 358	3 911	57,2	22,2	52,8	101,0	20,1
Пожар средней интенсивности							
Лесная подстилка	5233	2245	57,6	26,5	52,7	110,1	24,6
Травяно-кустарничковый ярус	380	189	9,9	2,0	9,2	13,7	1,6
Мохово-лишайниковый ярус	480	239	6,2	2,6	12	17,8	2,1
Подрост	1100	550	12,3	0,2	1,2	1,8	0,2
Итого с пожара средней интенсивности	7 193	3 223	86,0	31,3	75,1	143,4	28,5

Потери углерода, органического вещества, зольных элементов зависят как от интенсивности лесного пожара, так и пирологической характеристики лесных горючих материалов (ЛГМ), условий погоды при которой они распространяются. Эти потери могут значительно превышать накопленные элементы при протекании физиологических процессов в течении вегетационного периода.

От пирологической характеристики ЛГМ зависят параметры кромки пожара, его вид и интенсивность, экономические, экологические и социальные последствия. Немаловажное значение имеет сезон возникновения (весна, лето, осень) пожаров. ЛГМ широко варьируют по видовому составу, состоянию (влагосодержанию, запасу, постстратальному размещению), что оказывает влияние на характер развития пожаров и их последствия. На накопление ЛГМ оказывает влияние возраст и видовой состав древостоя, что определяет формирование напочвенного покрова, подлеска, лесного опада и подстилки генетически связанного в единый тип горючих материалов.

Полученные результаты исследований в средневозрастных и приспевающих сосняках мшистых, орляковых и кисличных, показывают, что запасы лесных горючих материалов (представлены в таблице 2) зависят от типа леса, возраста, состава древостоя и т.д., что согласуется с проведенными нами исследованиями и других ученых [2–3, 19, 20].

При пожарах слабой интенсивности гибель мхов и травянистых растений составила в среднем 74 %, опада и лесной подстилки – 32 %. Потери сухого вещества составили 4358 кг/га, в том числе выбросы углерода в виде сажи и газов составили 1911 кг/га, органического вещества – 57,2 кг/га, зольных элементов – 196,1 кг/га.

Пожары средней интенсивности привели к полному уничтожению подроста ели. Гибель мхов и травянистых растений составила 82 %, опада и лесной подстилки – 46 %. Потери сухого вещества составили 7193 кг/га. Выбросы диоксида углерода 3223 кг/га, органического вещества 86,0 кг/га, зольных элементов 278,3 кг/га.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесные пожары наносят огромный ущерб нижним ярусам растительности (подросту, опаду и лесной подстилке), посредством происходящих химических процессов. Ущерб можно классифицировать по потерям различных химических элементов и соединений.

Основными компонентами растительной биомассы являются углерод, водород и кислород. Пожар полностью сжигает большую часть этой биомассы, высвобождая углерод в виде углекислого газа, угарного газа и других соединений. Такие потери органического углерода нарушают его круговорот в экосистеме и влияют на ее почвенное плодородие.

Азот, магний, кальций, фосфор, калий и другие зольные элементы, необходимые для роста растений, частично улетучиваются в виде газов

при горении. Остальная часть в виде золы легко вымывается на легких почвах в низлежащие горизонты и остается недоступной для растений. Потеря этих элементов снижает почвенное плодородие, ухудшая условия для регенерации растительности.

Потеря органического вещества в почве снижает её способность удерживать влагу и питательные вещества. Структура почвы разрушается, что ведёт к эрозии.

Пожар изменяет состав и свойства гумуса (органического вещества почвы), что влияет на микробиологическую активность и питание растений.

Горение приводит к образованию токсичных веществ, таких как тяжёлые металлы, которые становятся более доступными для растений, что негативно влияет на их рост и развитие.

Происходит уничтожение значительной части почвенной микрофлоры и микрофауны, что нарушает биогеохимические процессы и снижает разложение органического вещества. В связи с этим замедляются процессы возобновления растительности.

В целом по проведенным нами исследованиям лесные пожары приводят к существенным изменениям в составе нижних ярусов растительности и почвы. Потеря биомассы, изменение содержания питательных веществ и образование токсичных соединений затрудняют восстановление экосистемы и приводят к долгосрочным негативным последствиям. Масштабы ущерба зависят от площади, интенсивности пожара, типа растительности и климатических условий.

В связи с тем, что пожар может охватывать не один, а несколько выделов, для оценки площади повреждения на каждом выделе на современном этапе необходимо использовать географические информационные системы, содержащие векторные слои и актуализированную атрибутивную информацию о лесных насаждениях. Совмещение векторных слоев с границами гарей и выделов позволит быстро оценить площади и таксационные характеристики насаждений где произошел пожар, а на основе атрибутивной информации, содержащей таксационные характеристики насаждений, выполнить объективную оценку ущерба.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2025 г. – Минск: 2025 – 88 с.
2. Рыхтэр І. Э. Лясная піralогія з асновамі радыёэкалогіі. Мінск: БДТУ, 2006. – 396 с.
3. Рихтер И.Э. Влияние низового пожара разной интенсивности на текущий прирост, потери азота и зольных элементов в сосняке мшистом / И. Э. Рихтер, О. В. Бахур, Г. Я. Климчик // Труды БГТУ. Сер 1. Лесное хозяйство – 2006. – Вып. XIV. С. 113–115.

4. Усеня В.В. Исследование послепожарного отпада деревьев в сосновых насаждениях в зависимости диаметра стволов и высоты нагара / В. В. Усеня // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. научн. Трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 51. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2000. – С. 72–279.
5. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы // Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М: ДЭКС-ПРЕС, 2004. – 312 с.
6. Фуреев В.В. Горимость лесов и последствия лесных пожаров в лесных регионах Красноярского края в начале XXI столетия / В.В. Фуреев, П.А. Цветков, Л.П. Злобина, И.В. Фуреев / Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. научн. Трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 70. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2010. – С. 604–620.
7. Рожков Л.Н. Оценка углеродного птула и динамика углеродных потоков в лесах Беларуси / Л.Н. Рожков // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. научн. Трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 72. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2012–С.130–141.
8. Азаренок В.А., Колтунова А.И. Депонирование углерода при экологизированных рубках: совмещение ресурсной и биосферной функции лесов / Аграрный вестник Урала. 2011. № 4(83). С. 53–54.
9. Желдак В.И. Лесоводственное регулирование рубок лесовозобновления на депонирование и сохранение углерода лесными экосистемами // Сохранение и рациональное использование биологических ресурсов в системе устойчивого лесоуправления: Матер. Енед. Научн.-прак. Конференции / Гомель, 27-29 сентября 2029 г. Институт леса НАН Беларуси. – Гомель, 2022. С. 162–166.
10. Цветков П.А. Лесная пирология в России: достижения и проблемы / П.А. Цветков // Сибирский лесной журнал. № 5. 2017. С. 6–17.
11. Багинский В.Ф. Запасы углерода в древесине в основных типах леса модельных сосновых древостоев восточной части Белорусского Полесья / В.Ф. Багинский // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. научн. Трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 72. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2012. – С. 363–371.
12. Федорук А.Т. Ботаническая география. Полевая практика. Минск: Изд-во БГУ, 1976. – 224 с.
13. Программа и методика биогеноценотических исследований. / под ред. Н.В. Дылиса. – М.: Наука, 1974. – 403 с.
14. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь. ТКП 622-2018 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018 г. – 96 с.
15. Методика определения углерода и питательных веществ в почве. – Минск.: Белгослес, 2018. – 10 с.
16. Методика оценки общего и годичного депонирования углерода лесами Республики Беларусь. – Минск: Белгослес, 2011. – 20 с.

17. Юшкевич М.В. Некоторые особенности влияния рубок леса на содержание химических элементов в хвойных фитоценозах в условиях Негорельского учебно-опытного Негорельского учебно-опытного и Минского лесхозов / М.В. Юшкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 42–51.
18. Климчик Г.Я. Оценка косвенного ущерба от лесных пожаров в сосновых / Г.Я. Климчик, П.В. Шалимо, О.Г. Бельчина // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 31–38.
19. Климчик Г.Я. Влияние лесных пожаров на лесные биогеоценозы / Г. Я. Климчик И. Э. Рихтер. П. В. Шалимо. – Минск: Вассамедия. 2009. – 40 с.
20. Климчик Г.Я. Методика исследования различных компонентов лесного фитоценоза для расчета углеродных потоков / Г.Я. Климчик, О.Г. Бельчина / Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во. Минск: БГТУ, 2019. № 2 (222). – С. 43–48.
21. Журнал учета лесных пожаров Борисовского лесхоза. 1996–2022 г. – 105 с.
22. Проект организации и ведения лесного хозяйства «Борисовский опытный лесхоз». Минское ГПЛХО на 2017–2026 годы. Том 1. Пояснительная записка / Сост.: А. А. Козак, Н.А. Станилевич, С.В. Автушков. – Минск: ЛРУП «Белгослес», 2016 г. – 257 с.

Статья поступила в редакцию 11.03.2025 г.

