

Научная статья
УДК 631.9
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.46.023

Некоторые свойства лесной растительности Шатурского лесничества, влияющие на характер ее горимости

Евгения Борисовна Аносова
Сергей Михайлович Ляшенко
Рамиль Ринатович Фатыхов
Андрей Александрович Блохин
Софья Максимовна Михайлова

Академия гражданской защиты МЧС России, Московская область, Химки, Россия
Автор ответственный за переписку: Рамиль Ринатович Фатыхов, fat0583@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты исследований образцов материалов, взятых с пожаров лесничества Шатурского района Московской области. Сделаны выводы о характере пожаров и о мощности источников, вызвавших их. С использованием современных методов анализа подробно изучены характеристики растительных материалов, влияющие на их способность воспламеняться и гореть.

Ключевые слова: лесные пожары, потеря массы образцов, тепловые эффекты, термическая деструкция, коксовый остаток, зольный остаток

Для цитирования: Аносова Е.Б., Ляшенко С.М., Фатыхов Р.Р., Блохин А.А., Михайлова С.М. Некоторые свойства лесной растительности Шатурского лесничества, влияющие на характер ее горимости // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 1 (28). С. 190-198. [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.46.023](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.46.023).

Some properties of the forest vegetation of the Shatura forestry affecting the nature of its burnability

Evgeniya B. Anosova
Sergey M. Lyashenko
Ramil R. Fatykhov
Andrey A. Blokhin
Sofya M. Mikhailova

The Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia, Khimki, Russia
Corresponding author: Ramil R.Fatykhov, fat0583@mail.ru

Abstract. The article presents the results of researching the samples of materials, that taken from the forest fires of the Shatursky district in the Moscow region. Conclusions about the nature of fires and the power of the sources that caused them are drawn. With the modern methods of analysis the characteristics of plant materials that affecting to their ability to ignite and burn were studied in details.

Keywords: forest fires, mass loss of samples, thermal effects, thermal destruction, coke residue, ash residue

For citation: Anosova E.B., Lyashenko S.M., Fatykhov R.R., Blokhin A.A., Mikhailova S.M. Some properties of forest vegetation of the Shatura forestry affecting the nature of its burnability//

Siberian Fire and Rescue Bulletin 2023. № 1 (28). p. 190-198. (In Russ.) [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.46.023](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.93.46.023).

Вопросы обеспечения пожарной безопасности лесов Российской Федерации продолжают оставаться актуальными. Связано это как с тенденцией возрастания количества лесных пожаров в России и за рубежом, так и с ущербом, связанным со сгоранием древесины и нарушением экосистем.

Следует отметить, что лесные пожары – бедствие, характерное для всех лесных массивов планеты. Однако, осложнившаяся в последние годы глобальная экологическая ситуация, совместно с пожарами, приводит к замещению одних видов растений другими, сокращению численности ценных лесных пород. В свою очередь, это провоцирует деградацию таких биомов как Сибирская тайга, что влияет на всемирную экосистему. Таким образом, любое воспламенение и горение лесной растительности в настоящий момент должно быть сведено до минимума.

Оценка уровня пожарной опасности лесов в Российской Федерации опирается, в основном, на внешние факторы – погодные условия, зрелость лесных массивов и т.д. [1]. Однако индивидуальные свойства растительности могут оказывать значительное влияние на ее способность воспламеняться и распространять горение и должны учитываться в случае разработки мер пожарной безопасности.

Площадь лесов Шатурского района, расположенного на востоке Московской области, составляет 45% от общей площади административного объекта. Пожары, возникающие в связи с горением торфа, высокой температурой воздуха, нарушением противопожарного режима – частое явление в теплый период года в данной местности. Особенно заметно это обстоятельство проявилось в 1972, 2002 и 2010 годах, когда задымление достигало центра Москвы.

В настоящей работе исследованы образцы исходной и затронутой огнем растительности с пожарных в лесу, предоставленные работниками Шатурского участкового лесничества. Это карбонизированные остатки различных пород древесины и некарбонизированные фрагменты древесины.

Всего было исследовано 11 образцов с двух самых крупных пожарных, находящихся на территории Шатурского участкового лесничества.

Полученные сведения могут оказаться полезными для прогнозирования риска пожаров в пожароопасный период и разработки мер по предотвращению ЧС.

Были проведены исследования образцов древесины и подлеска с применением современных физико-химических методов исследования.

Были применены:

- термогравиметрический (ТГ) и дифференциальный термогравиметрический (ДТГ) методы термического анализа;
- метод дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК);
- методики пожарной экспертизы, касающиеся исследований очага пожара [2].

Для изучения индивидуальных свойств различных пород древесины были использованы метод дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), термогравиметрический (ТГ) и дифференциальный термогравиметрический (ДТГ) методы термоанализа. Исследования проводились на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3 Jupiter Netzsch на кафедре пожарной безопасности АГЗ МЧС России (рис.1).



Рис. 1. Прибор синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3

Для термогравиметрических исследований было отобрано шесть образцов карбонизированных остатков древесины, полученные кривые представлены на рис.2.

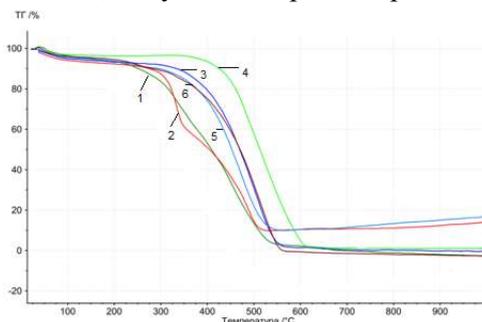


Рис. 2. ТГ-кривые карбонизированных образцов обугленной растительности: 1 – образец № 3 (кора взрослой ели), 2 – образец № 2 (древесина живой сосны), 3 – образец № 4 (древесина живой сосны), 4 – образец № 1 (древесина живой сосны), 5 – образец № 13 (древесина живой сосны), 6 – образец № 12 (древесина взрослой, сухостойной сосны).

При расшифровке полученных данных необходимо помнить, что согласно данным [2], при температуре до 400 °С из углей «тления» выделяется 5–7 % масс. летучих веществ, а из углей «пламенного горения» от 2 до 4 % масс. В интервале температур 400–500 °С из углей «тления» выделяется основное количество летучих веществ, которое превышает предыдущий показатель в 2 раза. До 600 °С угли «тления» теряют 90–100% от исходной массы, что соответствует всего около 10% убыли массы образца после 600 °С.

В результате анализа ТГ-кривых обугленных остатков древесины и полученных из них количественных характеристик (табл. 1 и 2), было установлено, что все рассмотренные образцы были получены при температуре ниже 600 °С, т.е. являются углями «тления».

Табл. 1. Термогравиметрические исследования со скоростью нагрева 20 К/мин

№ образца	Характеристические температурные точки на кривых ТГ (°С)				Потеря масс до 600°С, %	Потеря масс после 600°С, %
	Потеря массы					
	начало	5 %	10%	50%		
1	328,9	365	420	512	97	3
2	255,2	-	265	402	91	9
3	221	-	250	406	98	2
4	287,5	-	323	470	99	1
5	196	-	284	472	100	0
6	282,9	-	273	452	90	10

Табл. 2. Скорость уменьшения массы образцов в различных интервалах температур

№ образца	Убыль массы образцов, %					
	Интервал температур, °С					
	<200	200-300	300-400	400-500	500-600	>600
1	3	2	2	35	54	3
2	9	3	33	26	29	0
3	7	10	29	41	11	2
4	7	1	4	28	57	3
5	6	4	10	30	48	2
6	5	6	13	43	33	0

Следовательно, можно предположить, что исследованные пожары относятся к низовым, что подтверждается актами о пожарах, полученных от руководства Шатурского участкового лесничества.

Для определения в пробе обугленных остатков древесных материалов содержания водорода, углерода и азота был проведен элементный анализ на оборудовании Центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И. Менделеева.

По результатам проведенного анализа было рассчитано атомное соотношение «водород/углерод» для каждого образца по формуле [2]:

$$F = 12 \cdot H/C, \quad (1)$$

где H и C – содержание в угле, соответственно, водорода и углерода, % масс.

Также были рассчитаны продолжительность и температура горения образца в точке отбора пробы по формуле [1]:

$$\ln = \exp\{1,53 \ln H + 0,53 \ln [F / (0,7 - F)] - 1,86\}, \text{ мин}, \quad (2)$$

$$T = 3270 / \{\ln [H \cdot F / (0,7 - F)] + 0,29\}, \text{ К}. \quad (3)$$

Значение индукционного периода (τ_0) находят по формуле [2]:

$$\tau_0 = 77 - 0,086 \cdot T, \text{ мин}. \quad (4)$$

Величина содержания элементов H и C зависит от условий теплового воздействия на растительные материалы. С повышением тепловых характеристик процесса разложения развитие процессов ароматизации и карбонизации приводит к увеличению процентного содержания C и соответствующему понижению содержания H и O.

Условия сгорания древесных материалов больше всего оказывают влияние на величину атомного соотношения «водород/углерод» (F), которое представляет собой усредненное значение атомов водорода в образце на один атом углерода. У древесины $F = 1,53$ у графита

$F = 0$. Уголь по величине F находится между древесиной и графитом, приближаясь, в зависимости от условий теплового воздействия, к верхнему или нижнему значению.

В табл. 3 представлены экспериментальные и расчетные характеристики элементного анализа.

Табл. 3. Результаты элементного анализа

Образец	Содержание элементов, мас. %			Атомное соотношение "водород/углерод" (H/C ат.)	Продолжительность горения, мин	Температура горения, К	Температура горения, °С	Индукционный период, мин
	N	C	H					
№	N	C	H	F=12·H/C	ln	T	T	τ_0
6	0,43	65,25	3,72	0,68	8,54	609,17	336,17	24,61
6	0,52	66,03	3,82	0,69	15,32	509,32	236,32	33,199
6	0,51	66,49	3,77	0,68	7,77	633,18	360,18	22,55
Среднее	0,49	65,92	3,77	0,69	9,4	591	318	26
4	0,52	67,99	3,33	0,59	2,358	1038,63	765,63	0
4	0,51	67,19	3,29	0,59	2,313	1043,15	770,15	0
4	0,57	70,91	3,4	0,58	2,278	1074,42	801,42	0
Среднее	0,53	68,7	3,34	0,58	2,3	1053	780	0
5	0,96	51,18	4,72	1,12	-	-	-	-
5	0,94	53,03	5,09	1,15	-	-	-	-
5	1,05	55,52	5,26	1,14	-	-	-	-
Среднее	0,98	53,25	5,03	1,13	-	-	-	-

Из данных, представленных в табл.3, видно, что содержание углерода во всех образцах составляет 53–86 %, водорода – 3,5–6,0 %, а значит, образцы подвергались тепловому воздействию при температуре 300–400 °С и времени воздействия до 3 часов. При тепловом воздействии в температурном интервале 600–700 °С и меньшем времени образовались бы угли с 80–95% углерода и 2,5–3,5% водорода.

По полученным данным у исследованных образцов F составило 0,58 у образца № 4, 0,69 – у образца № 13 и 1,13 – у образца № 11. Отсюда следует вывод о том, что у образцов № 4 и № 13 продолжительность горения была дольше, чем у образца № 11, а у образца № 4 температура горения была выше, чем у образца № 13.

Чтобы оценить способность исходной растительности Шатурского участкового лесничества воспламеняться и гореть, были определены показатели, связанные с термическим воздействием:

- процент потери массы в результате испарения влаги в диапазоне температур 30–200 °С, W_{H_2O} ;
- экстраполированная температура начала интенсивного уменьшения массы, $t_{нум}$, °С;
- максимальная скорость потери массы в различных диапазонах температур, V_{max} , %/мин;
- температура, соответствующая максимальной скорости потери массы, t_{max} , °С;
- выход коксового остатка, КО, %;
- максимальная скорость окисления кокса, СОК, %/мин;
- зольный остаток при 600 °С и более, ЗО, % [3].

Данные характеристики позволяют судить о способности растительности воспламеняться и гореть в различных условиях термического воздействия, определять степень пожарной опасности и пожаростойкости материалов.

Остаток, который образуется при термическом воздействии без доступа воздуха, любого органического материала называется коксовым (КО). В состав древесных материалов наряду с органическими соединениями входит некоторое количество минеральных веществ. Эти минеральные вещества при обугливания древесины практически полностью остаются в угле и при полном его сгорании образуют зольный остаток (ЗО) в виде легкой белой или окрашенной в серовато-красный цвет массы [4].

С ростом зольности и влажности теплопроводность и температуропроводность обугленных остатков древесины увеличиваются, а их теплоемкость снижается, что соответственно повышает их пожарную опасность, то есть для воспламенения материала с высоким значением зольности требуется меньшее количество тепла.

Для исследования были отобраны образцы нетронутой огнем растительности и подлеска, характерного для мест возникновения очагов возгорания.

Эксперименты проводились на приборе синхронного термического анализа в атмосфере воздуха, масса образцов составляла 4,8 – 16,2 мг.

На рис. 3 представлены ТГ и ДТГ кривые образца № 5 при скорости нагрева 2,5 К/мин.

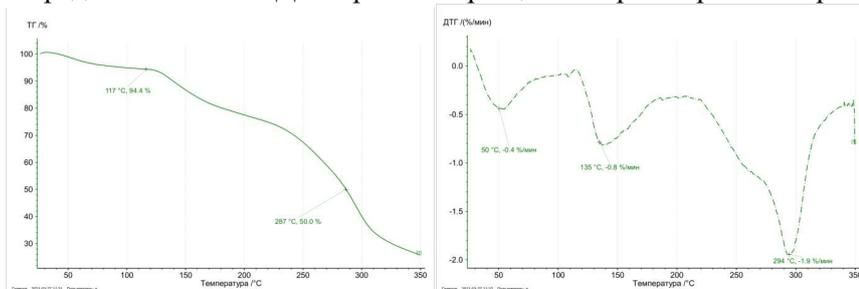


Рис.3. ТГ и ДТГ кривые образца № 5 (ветки молодого дуба, масса 12,8 мг) при скорости нагрева 2,5 К/мин

В табл. 4 представлены результаты определения термических характеристик, исследуемых образцов растительности при скорости нагрева 2,5 К/мин.

Табл. 4. Термогравиметрические исследования со скоростью нагрева 2,5 К/мин

Показатель	Образец				
	№ 5 (ветки молодого дуба)	№ 6 (кора взрослого дуба)	№ 7 (погибший подросток: рябина, черемуха)	№ 8 (кора взрослой березы)	№ 9 (ветки молодой березы)
Интервал 30-100 °С W_{H_2O} , %	5,6	7,8	12,7	0,6	1,1
V_{max} , %/мин	0,4	0,3	0,38	0,1	0,2
t_{max} , °С	50	74	50	47	54
Интервал 100-600 °С t_{upr} , °С	117	101	205	211	222
t_{max} , °С	294	295	314	303	300
V_{max} , %/мин	1,9	1,1	1,8	0,8	2,7
КО, %	50	50	50	63,7	31,6

Из полученных данных можно сделать вывод, что в режиме тлеющего горения при скорости нагрева 2,5 К/мин происходит плавное уменьшение массы образцов, при этом температура начала интенсивного уменьшения массы составляет 101–222 °С. Суммарное изменение массы образцов составило от 37,2 % (кора взрослой березы) до 74% (ветки молодого дуба).

На рис. 4 представлены ТГ и ДТГ кривые образца № 5 при скорости нагрева 10 К/мин.

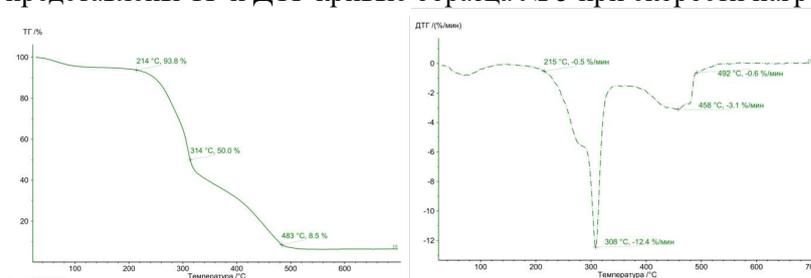


Рис. 4. ТГ и ДТГ кривые образца № 5 (ветки молодого дуба; масса 12,8 мг) при скорости нагрева 10 К/мин

В табл. 5 представлены результаты определения термических характеристик, исследуемых образцов растительности при скорости нагрева 10 К/мин.

Табл. 5. Термогравиметрические исследования со скоростью нагрева 10 К/мин

Показатель	Образец				
	№ 5 (ветки молодого дуба)	№ 6 (кора взрослого дуба)	№ 7 (погибший подросток: рябина, черемуха)	№ 8 (кора взрослой березы)	№ 9 (ветки молодой березы)
Интервал 30-200 °С W_{H_2O} , %	6,2	9,4	7,5	2,2	7,5
V_{max} , %/мин	0,5	0,9	0,8	0,5	1,1
t_{max} , °С	73	89	82	65	61
Интервал 200-600 °С t_{upr} , °С	214	203	205	205	212
t_{max} , °С	308	317	317	314	319
V_{max} , %/мин	12,4	3,7	5	4,6	8,6
КО, %	50	52,3	52,2	46,7	43,2
СОК, %/мин	3,1	5,2	3,6	4,1	5,8
ЗО, %	8,5	4,4	6,9	9,4	2,5

По полученным данным, представленным в табл. 8, можно сказать, что наиболее пожароопасным является образец № 17 (кора взрослой березы), поскольку у него образовался самый большой зольный остаток. Это свидетельствует о том, что для воспламенения этого образца с высоким значением зольного остатка требуется меньшее количество тепла. А наименее пожароопасным является образец № 18 (ветки молодой березы), его зольный остаток составляет 2,5 % масс.

На рис.5 представлены ТГ и ДТГ кривые образца № 5 при скорости нагрева 20 К/мин.

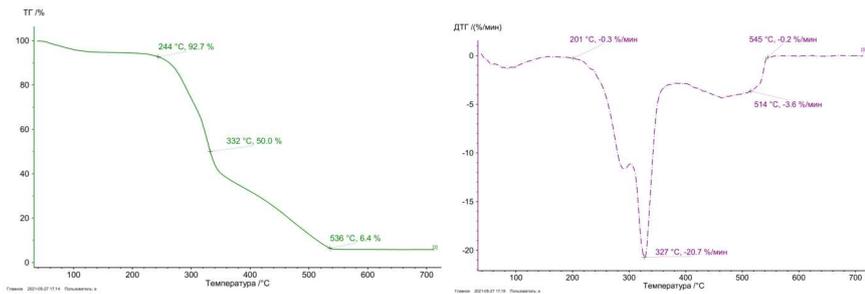


Рис. 5. ТГ и ДТГ кривые образца № 5 (ветки молодого дуба; масса 12,8 мг) при скорости нагрева 20 К/мин

В табл. 6 представлены результаты определения термических характеристик, исследуемых образцов растительности при скорости нагрева 20 К/мин.

Табл. 6. Термогравиметрические исследования со скоростью нагрева 20 К/мин

Показатель	Образец				
	№ 5 (ветки молодого дуба)	№ 6 (кора взрослого дуба)	№ 7 (погибший подросток: рябина, черемуха)	№ 8 (кора взрослой березы)	№ 9 (ветки молодой березы)
Интервал 30-180 °С W _{H2O} , %	7,3	8,4	7,9	6,3	11,6
V _{max} , %/мин	1,3	2	2	1	1,7
t _{max} , °С	85	82	83	92	90
Интервал 180-600 °С t _{нр} , °С	244	200	222	227	220
t _{max} , °С	327	331	276	422	336
V _{max} , %/мин	20,7	7,9	18,1	10,2	13,1
КО, %	50	50	38,8	66,6	42,5
СОК, %/мин	3,6	6,2	4,8	3,5	7,4
ЗО, %	6,4	5	0,6	1,5	0

У всех образцов на ДТГ-кривых при нагревании до интервала температур (294–422) °С наблюдается резкий рост скорости убыли массы, что, по-видимому, свидетельствует о возможности воспламенения и перехода в пламенное горение даже в случае тлеющего горения.

ТГ-кривые в случаях нагрева со скоростями 10 и 20 К/мин мало отличаются. Образцы со скоростью нагрева 10 К/мин испытывались до температуры 700 °С, а со скоростью 20 К/мин – до температуры 1000 °С.

При высокой скорости нагревания, на ТГ-кривых выделяются ступени, вероятно, соответствующие интервалам температур начала уменьшения массы различных компонентов древесины: гемицеллюлозы (около 200 °С), целлюлозы (275 °С) и лигнина (190 °С) [5]. Наибольшая скорость разложения гемицеллюлозы в условиях теплового нагрева достигается при 250 °С, при 300–350 °С процесс ее разложения заканчивается. Лигнин разлагается с очень медленными темпами параллельно с разложением целлюлозы, которое максимально при температурном интервале 300–350 °С.

Оставшийся негоряемый (зольный) остаток зависит от вида растения и составляет от 0% (№ 18 – ветки молодой березы) до 15,2% (№ 16 – погибший подросток: рябина, черемуха).

Характер кривых скорости уменьшения массы при нагревании со скоростями 10 и 20 К/мин у образцов 16, 17 и 18 различаются, вероятно, из-за вида и породы исследуемой растительности, ее элементного состава и структуры.

Таким образом, при температурах 40–90 °С, в зависимости от скорости нагрева, в образцах растительности начинаются процессы, при дальнейшем повышении температуры переходящие в тление. Эти условия могут быть созданы в результате фокусировки солнечных лучей в «линзе», которая создается брошенной стеклянной бутылкой. Воспламенение сухой растительности возможно из-за непогашенного открытого пламени, брошенного окурка.

В результате проведенных исследований образцов растительности можно сделать следующие предположения.

1. Все исследованные с помощью ТГ метода анализа образцы обугленной древесины являются углями «тления», образовавшимися в результате низкотемпературного пиролиза.
2. Согласно данным элементного анализа источниками зажигания на пожарах, произошедших в Шатурском участковом лесничестве, являются низкокалорийные источники зажигания.
3. Наиболее пожароопасным оказался образец коры взрослой березы, а наименее пожароопасным – образец веток молодой березы.
4. У всех образцов нетронутой растительности на ДТГ-кривых при нагревании до интервала температур (294–422) °С наблюдался резкий рост скорости потери массы, что, по-видимому, свидетельствует о возможности воспламенения и перехода в пламенное горение даже в случае тлеющего горения.
5. ДСК исследование показало, что все исследованные образцы нетронутой растительности проявляют при термическом воздействии схожие по характеру и значению экзотермические эффекты, связанные с их разложением; различие величин экзотермических эффектов на кривых связано, в основном, с разницей между массами испытанных образцов. Экзотермический характер разложения материалов повышает вероятность распространения пожара в случае создания благоприятных условий.

Список источников

1. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования»
2. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / Под науч. ред. канд. юр. наук Н.А. Андреева. – 2-е изд., стереотип. – СПб.: СПБИБ МВД России. 1997 – 562 с.
3. Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тхань Б.Д., Асеева Р.М. Термическое разложение древесины тропических пород // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2005. № 2.
4. Бронзов О.В., Уткин Г.К., Кислицын А.Н. Древесный уголь. Получение, основные свойства и области применения древесного угля. – М.: Лесная промышленность, 1979 – 137 с.
5. Марьяндышев П. А., Попова Е. И., Чернов А. А., Любов В. К. Изотермическое исследование древесного топлива и его органических компонентов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2016. № 2 (71)

List of sources

1. State standard R 22.1.09-99 «Monitoring and forecasting of forest fires. General requirements».
2. Cheshko I.D. Examination of fires (objects, methods, research methods) / Under the scientific ed. of Candidate of Legal Sciences N.A. Andreeva. – 2nd ed., stereotype. – St. Petersburg: SPbIPB of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 1997 – 562 p .
3. Serkov B. B., Sivenkov A. B., Thanh B. D., Aseeva R. M. Thermal decomposition of tropical wood // Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. 2005. No.2.
4. Bronzov O.V., Utkin G.K., Kislitsyn A.N. Charcoal. Obtaining, basic properties and applications of charcoal. – М.: Forest industry, 1979 – 137 p.
5. Maryandyshv P. A., Popova E. I., Chernov A. A., Lyubov V. K. Isothermal research of wood fuel and its organic components // Bulletin of Cherepovets State University. 2016. № 2 (71).

Информация об авторах

Е.Б. Аносова - кандидат технических наук, доцент
С.М. Ляшенко - кандидат военных наук, доцент
Р.Р. Фатыхов - кандидат технических наук, доцент
А.А. Блохин - кандидат технических наук

Information about the authors

E.B. Anosova - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

S.M. Lyashenko - Ph.D. of of Military Sciences, Docent

R.R. Fatykhov - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

A.A. Blokhin - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023; одобрена после рецензирования 01.02.2023; принята к публикации 21.02.2023.

The article was submitted 25.01.2023; approved after reviewing 01.02.2023; accepted for publication 21.02.2023.