

Оценка пожарной эмиссии углерода в сосновых и дубовых лесах Ялтинского горно-лесного природного заповедника

© 2019. В. Г. Кобечинская, к. б. н., доцент, О. Б. Ярош, д. э. н., профессор, Крымский федеральный университет им В. И. Вернадского, 295007, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, д. 4, e-mail: valekohome@mail.ru, iarosh.olga@gmail.com

В течение 10-ти летнего периода проведены исследования по эмиссиям углерода в составе углекислого газа вследствие воздействия пирогенного фактора на древостой, подлесок, опад и подстилку в разновозрастных фитоценозах южного макросклона Крымских гор. Объектами исследования являются горельники сосновых и дубовых лесов, расположенные на территории Ялтинского горно-лесного природного заповедника, который взят в качестве модельной территории. Работы по оценке объёмов эмиссии углекислого газа при горении в лесах Крыма ранее не проводились.

В результате проведённого исследования на примере сосновых и дубовых фитоценозов Ялтинского горно-лесного природного заповедника, которые занимают наибольшие площади, была рассчитана эмиссия углерода в составе углекислого газа, выделившегося при пожарах за 10-летний период. Это позволило оценить суммарные его объёмы на уровне 14170 т или 13,03 т/га. Эти показатели могут свидетельствовать о существенном влиянии данного парникового газа на климатические характеристики южнобережных экосистем Крыма, на изменение погодных характеристик в сторону учащения засух в летне-осенний период, что в результате ведёт к ослаблению водоохранных, климаторегулирующих и почвозащитных свойств этих лесов. Данная тенденция подтверждается приведёнными в работе метеорологическими данными со станции Ай-Петри.

Использованная в работе методика оценки запасов углерода на лесопокрытых площадях, также даёт возможность применять её для расчётов реальных объёмов выделившегося в атмосферу углекислого газа в результате пожаров. Она апробирована на основе лесотаксационных данных насаждений конкретных территорий по кварталам и выделам с учётом качественных и количественных характеристик древостоя, подлеска, подстилки и многолетнего учёта верховых и низовых лесных пожаров, что делает предложенную в работе методику эффективным инструментом для оценки величины ущерба, нанесённого лесным экосистемам в результате пожаров.

Ключевые слова: углекислый газ, лес, Крым, заповедник, пирогенный фактор, выбросы.

Evaluation of fire carbon emissions in pine and oak forests of the Yalta mountain forest natural reserve

© 2019. V. G. Kobechinskaya ORCID: 0000-0001-9467-9533[†]

O. B. Yarosh ORCID: 0000-0001-9663-2528[†]

Crimean Federal University V. I. Vernadsky, 4, Vernadsky Prospect, Simferopol, Republic of Crimea, Russia, 295007, e-mail: valekohome@mail.ru, iarosh.olga@gmail.com

We performed studies for a 10-year period for carbon emissions in carbon dioxide due to the influence of the pyrogenic factor on the stand, undergrowth and litter in uneven-aged stands of the southern macroslope of the Crimean Mountains. The relevance of the chosen topic is due to the fact that work to assess the volume of carbon dioxide emissions from burning in the forests of Crimea has not previously been carried out. As a result of the study on the example of pine and oak phytocenoses of the Yalta mountain-forest nature reserve, which occupy the largest areas, carbon emission in the composition of carbon dioxide released during fires over a 10-year period was calculated. This allowed us to estimate its total volumes at the level of 14170 t or 13.03 t/ha.

These indices testify to the significant influence of this greenhouse gas on climatic characteristics of the southern coastal ecosystems of the Crimea, to changes in weather characteristics in the direction of increasing droughts in the summer-autumn period, which as a result leads to a weakening of the water protection, climate-control and soil-protective properties of these forests. This trend is confirmed by the meteorological data given in the work from the Ai-Petri station.

The method used for estimation of carbon stocks in wooded areas is also used to calculate the actual amount of carbon dioxide released into the atmosphere as a result of fires. It has been tested on the basis of forest plantation data by

quarters and areas, taking into account the qualitative and quantitative characteristics of the tree stand, undergrowth, debris layer in long-term records of high and low forest fires, which makes the method proposed in the work an effective tool for assessing the damage to ecosystems caused by the forest fire.

Keywords: carbon dioxide, forest, Crimea, reserve, pyrogenic factor, emissions.

Лесной покров является естественным поглотителем парниковых газов и, в первую очередь – углекислого газа [1, 2]. Оценке эмиссии углекислого газа при пожарах в лесных экосистемах России и других стран посвящено значительное количество работ [3–10]. Однако для лесов Республики Крым эта работа не выполнялась в силу территориальных особенностей региона. В связи с чем, целью данной работы является получение новых данных об эмиссии углерода в результате воздействия огня в многолетней динамике на эти сообщества. В соответствии с этим поставлены две основные задачи:

– апробировать методику, позволяющую оценивать объёмы пожарной эмиссии углерода на примере одного из крымских лесных заповедников;

– провести комплексную оценку углеродного бюджета по выбросам углекислого газа в результате воздействия пирогенного фактора на сосновые и дубовые леса горного Крыма и оценить их влияние на климат региона.

В период с 1990 по 2003 гг. в Украине были выполнены работы, где сделана оценка объёмов выбросов углекислого газа при пожарах в лесах на основе учёта массы органического вещества, его химического состава и условий горения. Пожарная эмиссия парниковых газов оценивались в 5–35 т/га в зависимости от состава, возраста и типа лесных насаждений [11]. Однако, в данных исследованиях не привлекались материалы по Крымскому полуострову. Для их сопоставимости была использована методика оценки углерода, депонированного в лесных экосистемах, которая была разработана совместно Харьковским национальным университетом им. В. Н. Каразина и НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого [11]. Нами была проведена оценка эффективности этой методики для расчёта расходной части углеродного бюджета по углекислому газу при выбросах в результате пожаров разной интенсивности в сосновых и дубовых лесах Республики Крым на примере Ялтинского горно-лесного природного заповедника (ЯГЛПЗ). В результате воздействия огня происходит экологическая дестабилизация природной среды, снижается

уровень ценотического разнообразия растительного покрова, идёт сокращение площадей природных группировок и упрощение их структуры, что нарушает гомеостаз заповедных ландшафтов [10]. Данное исследование выполнено впервые для этого региона.

Методика исследования

Существуют разнообразные методики, позволяющие на основе использования дистанционного зондирования Земли лесопокрываемых площадей при отсутствии полной базы данных по лесам оценивать прирост массы углерода в наземных частях древостоя по параметрам интенсивности фотосинтеза [6, 8]. Также возможно оценить часть запасённого углерода по аккумуляции его в древостое, используя конкретные снимки пробных площадей, но обязательное условие – временные границы, т. е. должно быть полное совпадение по срокам снимка и данных наземной съёмки пробных площадей [12–13]. Но более полным, безусловно, является комплексный подход, привлекающий также в анализе оценки общего количества углерода в лесах ещё: опад, подстилку и сухостой [9, 14–16].

Для расчёта количества углерода в насаждениях использовались собственные полевые материалы, собранные на горельниках [15], привлекалась также база данных по лесоустройству площадей, пройденных огнём по выделам и кварталам, классам бонитета, полноты и высоты древостоя с учётом породы и фракций: опада, подстилки и подлеске.

Особенности сухого субтропического климата данного региона проявляются в том, что в весенний период выпадает мало осадков, в среднем 70–111 мм, а летом – 90–104 мм, со снижением по годам до 25–50 мм. Летом средняя температура в этом районе составляет 29 °С, что ведёт к высушиванию приземного слоя опада и подстилки и создаёт благоприятные условия для возникновения пожаров.

Заметим, что исследование касалось только дубовых и сосновых насаждений, занимающих наибольшие площади на территории южного макросклона Крымских гор

Таблица 1 / Table 1

Расчётные соотношения для определения содержания углерода по фракциям в сосновых и дубовых лесах / Calculation ratios for determination of carbon content in pine and oak stands on fractions [11, 16]

№ формулы / No. of formula	Компоненты Components	Формулы Formulas
1	для кроны сосны crown of pine	$(0,05 \cdot k_1 \cdot KAH^{k_2} \cdot KAP^{k_3} \cdot KAMG \cdot KASS) \cdot r_1 \cdot S$
2	для k_1, k_2, k_3 ствола сосны for with k_1, k_2, k_3 pine trunk	$(0,5 \cdot k_1 \cdot KAH^{k_2} \cdot (1 - 0,5 \cdot KAP) \cdot KAP^{k_3}) \cdot r_1 \cdot S$
3	для кроны дуба / oak crown	$(0,05 \cdot k_1 \cdot KAA^{k_2} \cdot KAP^{k_3} \cdot KAMG \cdot KASS) \cdot r_2 \cdot S$
4	для k_1, k_2, k_3 ствола дуба for with k_1, k_2, k_3 an oak trunk	$(0,5 \cdot k_1 \cdot KAH^{k_2} \cdot (1 - 0,5 \cdot KAP) \cdot KAP^{k_3}) \cdot r_2 \cdot S$
5	для подлеска сосны undergrowth pine	$0,45 \cdot (2,561 \cdot KAP - 1,311 \cdot KAP^2 - 0,0263) \cdot k \cdot r_8 \cdot S$
6	для подлеска дуба undergrowth oak	$0,45 \cdot (2,561 \cdot KAP - 1,311 \cdot KAP^2 - 0,0263) \cdot k \cdot r_9 \cdot S$
7	для опада и подстилки litterfall and litter	$k_1 \cdot (k_2 \cdot KAA^2 + k_3 \cdot KAA + k_4) \cdot KAP^{l,2} \cdot r_{10} \cdot S$

Примечание: KAH – высота, KAP – полнота, $KAMG$ – запас на 1 га, $KASS$ – коэффициент состава, KAA – возраст, S – площадь выдела.

Note: KAH – height, KAP – the fullness of the plantation, $KAMG$ – stock per 1 ha, $KASS$ – composition ratio, KAA – the age of the stand, S – area of allotment.

Таблица 2 / Table 2

Конверсионные коэффициенты k для определения содержания углерода в подлеске сосновых и дубовых насаждений / Conversion factors k for determination of carbon content in the undergrowth of pine and oak stands [16]

Возраст насаждения Age of planting	Класс возраста Age class	Сосна Pine	Дуб Oak
Молодняки / young growth	2, 3	0,5	0,45
Средневозрастные / middle-aged	4, 5	0,6	0,6
Приспевающие / ripening	6	0,65	0,65
Спелые / ripe	7, 8	0,7	0,7

в пределах ЯГЛПЗ. Расчётные соотношения для определения содержания углерода в древостое, подлеске, опаде и подстилке сосновых и дубовых насаждений были приняты, исходя из следующих соотношений (табл. 1).

Конверсионные коэффициенты (отношения) (k_1, k_2, k_3, k_4) и коэффициенты размерности ($r_1, r_2, \dots, r_9, r_{10}$), полученные расчётным путём [11, 16] для лесов страны, были выведены для всех основных лесообразующих пород с учётом их возраста, высоты, полноты древостоев и их условий произрастания. Они переводили запасы углерода, аккумулированные в стволовой древесине, в запасы углерода для всей живой и мёртвой фитомассы, включая ветви, листья/хвою, сухостой и лесную подстилку. Также в анализе отмечалась принадлежность этих сообществ к тому или иному лесорастительному району с учётом широтной

и высотной зональности страны. В данной работе был использован ряд из конверсионных коэффициентов этих исследователей.

С учётом возраста насаждений вводятся коэффициенты для расчёта массы углерода в подлеске сосновых и дубовых лесов (формулы № 5 и № 6), они также зависят и от условий произрастания (табл. 2).

Лишь в молодняках они отличаются: для сосны это 0,5, для дуба – 0,45. Для средневозрастных, приспевающих и спелых сообществ расчётные коэффициенты, независимо от породы в подлеске, одинаковые (продолжительность класса возраста древостоя – 20 лет).

Также расчётным путём ими были получены коэффициенты по фракциям древостоя, опада и подстилки для каждой породы (табл. 3).

Исходя из расчётов, очевидно, что общая масса углерода при пожарной эмиссии по

Таблица 3 / Table 3

Конверсионные коэффициенты для определения содержания углерода по фракциям древостоя, опада и подстилки сосны и дуба [11] / The proportion of the fractions of the stand of pine and oak by formulas and coefficients [11]

Порода Species	Фракция Fraction	№ формулы / No. of formula	k_1	k_2	k_3	k_4
Сосна / Pine	крона/ crown	1	0,346	-0,793	-0,705	-0,695
Сосна / Pine	ствол/ trunk	2	5,701	1,464	1,525	1,589
Дуб / Oak	крона/ crown	3	0,265	-0,254	-0,128	-0,114
Дуб / Oak	ствол/ trunk	4	0,385	0,06	0,11	0,14
Сосна / Pine	опад и подстилка/ litterfall and litter	7	0,48	-0,003	0,51	0,63
Дуб / Oak	опад и подстилка / litterfall and litter	7	0,42	-0,0012	0,24	0,25

годам исследований в изученных сосновых и дубовых насаждениях Крыма, была оценена как сумма всех рассчитанных слагаемых. При этом можно предположить, что окончательные данные будут несколько ниже, так как не учитывалась аккумуляция углерода в корнях и почве этих растительных сообществ.

Результаты и их обсуждение

Леса ЯГЛПЗ наиболее часто подвергаются воздействию огня (71% от всех гарей полуострова), поэтому их использовали в качестве модельной территории для апробирования данной методики. Его общая площадь – 14523 га, причём лесопокрытая достигает 75,8%. Ведущие причины возникновения здесь пожаров – это антропогенный фактор и отсутствие защитной буферной зоны, т. к. он со стороны моря прилегает к югобережным курортным посёлкам [15].

Наибольшие площади в заповеднике, образуя сплошной хорошо выраженный пояс, занимают пиропитные леса из сосны крымской или Палласа (*Pinus pallasiana* D. Don) (5600 га – 38,5%) – зона их распространения вдоль южного берега Крыма от 60 до 1240 м над у. м., сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* var. *hamata* Steven) (863,3 га – 5,9%), которая приурочена к высотам 750–1350 м над у. м. и незначительные площади сосны Станкевича (*Pinus stankewiczii* (Sukacz.) Fomin), которая встречается от побережья до 200 м над у. м. Всего эти леса в сумме занимают 46,6% от всей территории заповедника. Дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd) приурочен к нижнему приморскому поясу, произрастая по склонам до 660 м над у. м., и дуб скальный (*Quercus petraea* Liebl), обитающий в пределах 290–1100 м над у. м. В совокупности они занимают 2689,6 га, что

составляет 18,5% от общей площади ЯГЛПЗ. На территории заповедника в общей сложности пройдено огнём 2251,3 га, в том числе 447,9 га – это верховые пожары с полным уничтожением лесного покрова. Доля количества крупных пожаров в целом незначительна (3,1%), но на них приходится до 95,5% от всех повреждённых огнём площадей. В данной работе мы провели оценку эмиссии углерода при лесных пожарах в результате горения биомассы. Послепожарные остатки на гарях, которые разлагаются медленно – десятилетия, в учёт не брались. Данные были получены на основе собственных полевых исследований, собранных на 18 пробных площадях однопорodных насаждений разновозрастных горельников за 10-летний период в лесничествах этого заповедника [15], лесотаксационной базе материалов этой территории с дополнениями некоторых добавочных показателей, касающихся расчётов эмиссии углерода с привлечением конверсионных коэффициентов.

Первоначально были составлены таблицы по годам исследований для каждого участкового лесничества с учётом квартальной сети и выделов, где был зафиксирован пожар, его площади и состава пород, возраста и полноты древостоя. Наибольшее количество возгораний леса фиксируется на территории Алушкинского лесничества (более 65%), особенно в квартале 23 и Оползневского (в кв. 13 и 14), наименьшее – в Ливадийском (5–10%). По лесотаксационным описаниям насаждений отдельно, с учётом коэффициентов, рассчитывались данные по эмиссии углерода для подлеска, опада и подстилки по каждой породе после верховых и низовых пожаров.

В таблице 4 приводятся суммарные показатели эмиссии углерода в составе углекислого газа, образовавшегося в результате горения

Таблица 4 / Table 4

Расчёт выбросов по углероду из фракции древостоя при верховых пожарах Ялтинского горно-лесного природного заповедника для дубовых и сосновых насаждений / Calculation of carbon emissions from the forest stand fraction in mountain fires of the Yalta mountain-forest nature reserve for oak and pine plantations

Год Year	Порода Species	КАА	КАР	КАМГ	КАСС	Площадь горельников, га / Area burners, ha	Суммарный выброс углерода, т Total carbon emissions, t
2007	Дуб / Oak	70	0,5	120	10	200,77	7780,87
2007	Сосна / Pine	85	0,7	190	10	135,52	1520,61
2008	Дуб / Oak	80	0,6	130	10	1,37	53,21
2008	Сосна / Pine	90	0,7	200	10	0,92	10,53
2012	Дуб / Oak	65	0,5	110	10	0,89	34,71
2012	Сосна / Pine	80	0,7	180	10	0,60	6,87
Всего/ Total						340,07	9406,81

Примечание: КАА – возраст древостоя; КАР – полнота насаждения; КАМГ – запас на га; КАСС – состав.
Note: КАА – the age of the stand; КАР – the fullness of the plantation; КАМГ – reserve per ha; КАСС – composition ratio.

Таблица 5 / Table 5

Расчёт эмиссии углерода из фракций подлеска, опада и подстилки Ялтинского горно-лесного природного заповедника для дубовых и сосновых насаждений при низовых пожарах / Calculation of carbon emissions from the undergrowth, the litter and litter fraction of the Yalta mountain-forest nature reserve for oak and pine plantation in case of grassland fires

Год Year	КАА Дуб Oak	КАР Дуб Oak	КАА Сосна Pine	КАР Сосна Pine	Площадь горельни- ка, га Area of fire, ha	Фракции Fraction	Выброс углерода от фракций видов дуба, т Carbon emissions in fraction from oak species, t	Выброс углерода от фракций видов сосны, т / Carbon emissions in fraction from pine species, t	Суммарный выброс углерода от фракций, т / Total carbon emission in fraction, t
2007	70	0,5	100	0,8	1002,4	1	124,74	91,95	216,69
						2	2704,0	1484,66	4188,7
2008	60	0,4	80	0,6	53,3	1	6,63	4,89	11,52
						2	143,80	78,94	222,74
2009	80	0,5	85	0,6	3,7	1	0,46	0,34	0,80
						2	9,98	5,48	15,46
2010	70	0,5	90	0,7	2,4	1	0,30	0,22	0,52
						2	6,47	3,55	10,02
2011	60	0,4	80	0,6	0,9	1	0,11	0,08	0,19
						2	2,42	1,33	3,75
2012	75	0,4	75	0,5	19,6	1	2,44	1,80	4,24
						2	52,88	29,02	81,90
2013	–	–	60	0,4	0,02	1	–	0,002	0,002
						2	–	0,03	0,03
2014	–	–	70	0,5	0,795	1	–	0,07	0,07
						2	–	1,17	1,17
2015	–	–	80	0,6	2,628	1	–	0,24	0,24
						2	–	3,88	3,88
2016	–	–	60	0,4	1,42	1	–	0,13	0,13
						2	–	2,10	2,10
Итого Total					1087,16	1	134,68	99,722	234,40
						2	2919,25	1610,16	4529,75

Примечание: 1 – подлесок; 2 – опад и подстилка; КАА – возраст древостоя; КАР – полнота насаждения.
Note: 1 – undergrowth; 2 – litterfall and litter; КАА – the age of the stand; КАР – the fullness of the plantation.

древостоя сосны крымской, сосны обыкновенной, дуба пушистого и дуба скального в целом для всего заповедника без дифференциации по видам и участковым лесничествам при верховых пожарах, которые были за годы учёта только в 2007, 2008 и 2012 гг.

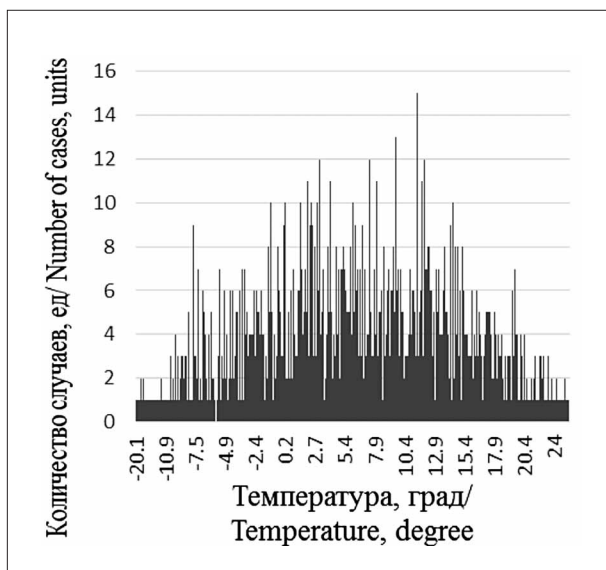
Так, суммарный объём эмиссии углерода, накопленного в древостое заповедника с общей площади 340,07 га от верховых пожаров достигает 9406,81 т. В пересчёте на 1 га (без разделения по породам) выбросы углерода составили в среднем 27,66 т. Следовательно, с учётом возраста насаждений, вклад по эмиссии углерода в результате верховых пожаров в природных фитоценозах заповедника достаточно значителен и превышает средний показатель для лесов этой зоны в 2,5 раза [11].

Оценка объёмов эмиссии углерода из подлеска, опада и подстилки на горях при низовых пожарах приведена в таблице 5.

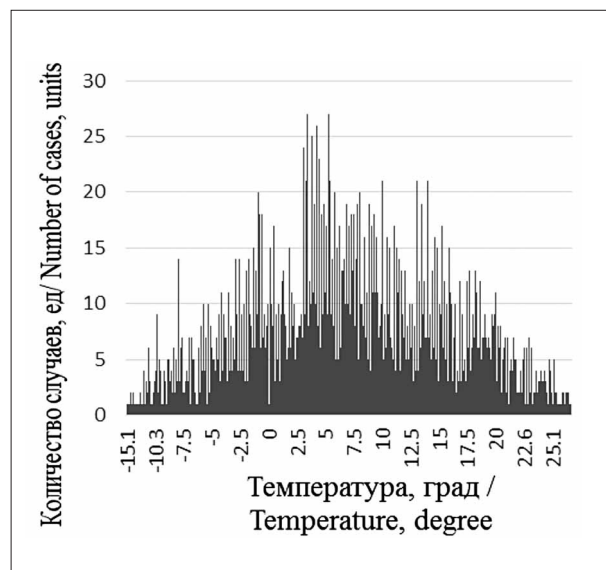
С 2013–2016 гг. не было низовых пожаров в дубравах, поэтому в таблице 5 эти данные отсутствуют. Результаты расчётов показывают, что объёмы эмиссии углерода от сгоревших опада и подстилки достигают 4529,75 т, что составляет в среднем 4,17 т/га, причём вклад по породному составу фитоценозов дуба пушистого и дуба скального выше в 1,8 раза, чем сосны крымской и сосны обыкновенной. Выбросы в результате низового пожара от горения подлеска сравнительно невысокие – 234,40 т, т. е. 0,22 т/га.

Сравнительный анализ вклада выбросов углерода при пожарах по фракциям чётко выявляет, что именно в древостое накоплено самое высокое его количество – 66,4%, второе место занимает сгоревшая подстилка – 31,96%, вклад подлеска крайне незначителен – всего 1,64%. Следовательно, если не дифференцировать по компонентному составу леса и вывести средние показатели пожарной эмиссии углерода в составе углекислого газа, выделившиеся в атмосферу в результате горения, как результат пожаров разной интенсивности, то они оцениваются на уровне 13,03 т/га.

Полагаем, что этот метод оценки позволяет получить вполне достоверные данные, что даёт возможность на основе первичных материалов лесотаксации лесопокрытых территорий, проводить не только оценку депонированного углерода в лесные сообщества, как предлагают авторы [12, 18], но и успешно использовать эти данные для расчётов расходной части бюджета нетто-стока эмиссии углерода в составе углекислого газа с достаточной достоверностью при пожарах в лесах. Это позволяет оценивать не только объёмы сгоревшей биомассы по фракционному составу, но и вклад пожаров данной территории в «парниковый эффект» и изменение региональных климатических параметров [19]. Подтверждение данного факта можно найти в метеорологических наблюдениях по этому региону. За последние 50 лет среднего-



А. По данным 2006 г.
(выборка 1443 наблюдений)
A. According to data for 2006
(1443 observations)



Б. По данным 2017 г.
(выборка 2917 наблюдений)
B. According to data for 2017
(2917 observations)

Рис. Частота встречаемости температур
Fig. Frequency of occurrence of temperatures

довая температура повысилась на 0,5 °С, а при рассмотрении метеорологических данных со станции Ай-Петри, расположенной на яйле, и находящейся в рассматриваемой зоне, видно, что изменения ещё более значительные (рис.).

Так, если среднегодовая температура в 2006 г. составляла 5,79 °С, а медианное значение было на уровне 6 °С, то в 2017 г. среднегодовая температура составляла 7,06 °С, с медианным значением 7,1 °С. Увеличение температуры воздуха и уменьшение количества атмосферных осадков усиливает вероятность возникновения горения лесов. Повышение приземной температуры воздуха в результате частых пожаров может сопровождаться учащением засух в жаркие периоды года, сокращением количества осадков, нарушением почвенно-гидрологического режима. В результате это ведёт к снижению общей продуктивности лесных фитоценозов и нарушению их гомеостаза, что скажется впоследствии на ухудшении их климаторегулирующих, почвозащитных и водоохраных функций, особенно для южнобережных экосистем Крыма.

Выводы

Для горных лесов Крыма на примере сосновых и дубовых фитоценозов Ялтинского горно-лесного природного заповедника была рассчитана эмиссия углерода в составе углекислого газа, выброшенного при пожарах за 10-летний период, что позволило оценить суммарные его объёмы на уровне 14170 т или 13,03 т/га. Эти показатели свидетельствуют о существенном влиянии данного парникового газа на климатические характеристики южнобережных экосистем Крыма. Данная тенденция подтверждается метеорологическими показателями со станции Ай-Петри.

Использованная в работе методика оценки запасов углерода на лесопокрытых площадях также даёт возможность применять её для расчётов реальных объёмов выделившегося в атмосферу углекислого газа в результате пожаров. Она проводится на основе лесотаксационных данных насаждений конкретных территорий по кварталам и выделам с учётом качественных и количественных характеристик древостоя, подлеска, опада и подстилки при многолетней регистрации всех верховых и низовых лесных пожаров, что делает предложенную в работе методику эффективным инструментом для оценки величины ущерба, нанесённого огнём воздействием лесным экосистемам.

Литература

1. Thonicke K., Venevsky S., Sitch S., Cramer W. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a dynamic global vegetation model // *Global Ecology and Biogeography*. 2001. V. 10. No. 6. P. 666–677.
2. Schultz M.G., Heil A., Hoelzemann J.J., Spessa A., Thonicke K. Global wildland fire emissions from 1960 to 2000 // *Global Biogeochemical Cycles*. 2008. V. 22. No. 2. P. 34–76.
3. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Eds. A. Wetlands, T. Hiraiishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, T.G. Troxler. Published: IPCC, Switzerland [Электронный ресурс] http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf (Дата обращения: 28.05.2019).
4. Fiedlingstein P., Andrew R.M., Rogelj J. Persistent growth of CO₂ emissions and implications for reaching climate targets // *Nat. Geosci.* 2014. V. 7. P. 709–715.
5. Кудеяров В.Н. Углеродный баланс наземных экосистем на территории России. К 25-летию принятия рамочной Конвенции ООН об изменении климата // *Вестник РАН*. 2018. Т. 88. № 2. С. 179–183.
6. Сафронов М.А., Швиденко А.З., Голдаммер И.Г. Влияние пожаров на баланс углерода в бореальной зоне Северной Евразии: создание информационной базы для моделей // *Лесоведение*. 2000. № 4. С. 3–8.
7. Tomppo E., Nilsson M., Rosengren M., Aalto P., Kennedy, P. Simultaneous use of Landsat-TM and IRS-1c WiFS data in estimating large area tree stem volume and aboveground biomass // *Remote Sensing of Environment*. 2002. No. 82. P. 156–171.
8. Smith J.E., Heath L.S., Nichols M.C. U.S. Forest carbon calculation tool: forest-land carbon stocks and net annual stock change (revised for use with FIADB 4.0) // *Gen. Tech. Rep. NRS-13*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2010. No. 28. P. 14–17.
9. Turner D.P., Koerper M.E., Harmon M.E. A carbon budget for forests of the conterminous United States // *Ecol. Appl.* 1995. V. 5. No. 2. P. 421–436.
10. Ярош О.Б. Экономико-институциональные основы управления природопользованием Украины. Симферополь: АРИАЛ, 2014. 354 с.
11. Атрошенко Л.М., Горобец В.Н., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И., Сафронова Л.П. Методики описания лесных территорий в целях обеспечения эффективного дешифрования спутниковой информации РСА // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений*. М.: Азбука-2000, 2008. Т. 2. Вып. 5. С. 257–264.
12. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. Моделирование значений первичной биологической продукции для зональной растительности Европейской

России // Известия РАН. Серия: биологическая. 2001. № 3. С. 353–361.

13. Abrams M. The advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER): Data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform // *International Journal of Remote Sensing*. 2000. No. 21. P. 847–859.

14. Smith J.E., Linda S. Heath, Coeli M. Hoover carbon factors and models for forest carbon estimates for the 2005–2011 National Greenhouse Gas Inventories of the United States // *Forest Ecology and Management*. 2013. No. 307. P. 7–19.

15. Кобечинская В.Г., Онищенко Т.С. Послепожарные сукцессии сосновых лесов Крыма // *Учёные записки КФУ. Сер. Биология. Химия*. 2017. Т. 4 (70). С. 112–126.

16. Лакида П. І. Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.

17. Lu D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. No. 27. P. 1297–1328.

18. Agrawal A., Chhatre A., Hardin R. Changing governance of the world's forests // *Science*. 2008. V. 320. No. 5882. P. 1460–1462.

19. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016. World Meteorological Organization. 2017 [Электронный ресурс] https://www.wmo.int/pages/index_ru.html (Дата обращения: 28.05.2019).

References

1. Thonicke K., Venevsky S., Sitch S., Cramer W. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a dynamic global vegetation model // *Global Ecology and Biogeography*. 2008. V. 10. No. 6. P. 661–677. doi: 10.1046/j.1466-822X.2001.00175.x

2. Schultz M.G., Heil A., Hoelzemann J.J., Spessa A., Thonicke K. Global wildland fire emissions from 1960 to 2000 // *Global Biogeochemical Cycles*. 2008. V. 22. No. 2. P. 34–76. doi: 10.1029/2007GB003031

3. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Eds. A. Wetlands, T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, T.G. Troxler. Published: IPCC, Switzerland [Internet resource] http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf (Accessed: 28.05.2019).

4. Fiedlingstein P., Andrew R.M., Rogelj J. Persistent growth of CO₂ emissions and implications for reaching climate targets // *Nat. Geosci.* 2014. V. 7. P. 709–715. doi: 10.1038/NGEO2248

5. Kudeyarov V.N. Carbon balance of terrestrial ecosystems on the territory of Russia. To the 25th anniversary of the adoption of the UN framework Convention on climate change // *Vestnik RAN*. 2018. V. 88. No. 2. P. 179–183 (in Russian).

6. Safronov M.A., Shvidenko A.Z., Goldammer I.G. Influence of fires on carbon balance in the boreal zone of Northern

Eurasia: creation of an information base for models // *Lesovedenie*. 2000. No. 4. P. 3–8 (in Russian).

7. Tomppo E., Nilsson M., Rosengren M., Aalto P., Kennedy P. Simultaneous use of Landsat-TM and IRS-1c WiFS data in estimating large area tree stem volume and aboveground biomass // *Remote Sensing of Environment*. 2002. No. 82. P. 156–171. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00031-7

8. Smith J.E., Heath L.S., Nichols M.C. U.S. Forest carbon calculation tool: forest-land carbon stocks and net annual stock change (revised for use with FIADB 4.0) // *Gen. Tech. Rep. NRS-13*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2010. No. 28. P. 14–17. doi: 10.2737/NRS-GTR-13

9. Turner D.P., Koerper M.E., Harmon M.E. A carbon budget for forests of the conterminous United States // *Ecol. Appl.* 1995. V. 5. No. 2. P. 421–436. doi: 10.2307/1942033

10. Yarosh O.B. Economic and institutional basis for environmental management of Ukraine. Simferopol': ARIAL, 2014. 354 p. (in Russian).

11. Atroshenko L.M., Gorobets V.N., Gorobets N.N., Kostyashkin S.I., Safronova L.P. Methods for the description of forest territories in order to ensure effective decoding of satellite information of the SAR // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space: physical principles, methods and technologies for monitoring the environment, potentially dangerous objects and phenomena*. Moskva: Azbuka-2000, 2008. V. 2. No. 5. P. 257–264 (in Russian).

12. Golubyatnikov L.L., Denisenko E.A. Modeling the values of primary biological products for zonal vegetation in European Russia // *Izvestiya RAN. Seriya: biologicheskaya*. 2001. No. 3. P. 353–361 (in Russian).

13. Abrams M. The advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER): Data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform // *International Journal of Remote Sensing*. 2000. No. 21. P. 847–859.

14. Smith J.E., Linda S. Heath, Coeli M. Hoover carbon factors and models for forest carbon estimates for the 2005–2011 National Greenhouse Gas Inventories of the United States // *Forest Ecology and Management*. 2013. No. 307. P. 7–19. doi: 10.1016/j.foreco.2013.06.061

15. Kobechinskaya V.G., Onischenko T.S. Post-fire succession in pine forest of Crimea // *Uchenye zapiski KFU. Ser. Biologiya. Himiya*. 2017. V. 4 (70). P. 112–126 (in Russian).

16. Lakyda P.I. Phytomass of the forests of Ukraine. Ternopol: Zbruch, 2002. 256 p. (in Ukrainian).

17. Lu D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. No. 27. P. 1297–1328. doi: 10.3390/rs5031389

18. Agrawal A., Chhatre A., Hardin R. Changing governance of the world's forests // *Science*. 2008. V. 320. No. 5882. P. 1460–1462. doi: 10.1126/science.1155369

19. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016 // World Meteorological Organization. 2017 [Internet resource] https://www.wmo.int/pages/index_ru.html (Accessed: 28.05.2019).