

ОИ 10.31509/2658-607х-2020-3-4-1-8
УДК 630.43

ОЦЕНКА ПРЯМЫХ ПИРОГЕННЫХ ЭМИССИЙ УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ ЗА 2020 ГОД ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

© 2020 г.

Д.В. Ершов*, Е.Н. Сочилова

*ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14
E-mail: dvershov67@gmail.com

Поступила в редакцию: 14.12.2020

Принята к печати: 27.12.2020

В статье приводятся результаты оценки пирогенных эмиссий соединений углерода в лесах России за 2020 год, проведенной с использованием методов дистанционного мониторинга. Площадь повреждений лесов от пожаров составила 6.5 млн. га, а размеры выбросов углерода – 36.5 МтС. Хотя площадь повреждений в целом по стране выше среднедолголетних значений, масштаб пирогенных выбросов углерода ниже среднедолголетних значений и по абсолютным показателям соответствует 2016 году. Отмечается рост выбросов углерода от пожаров после аномального 2012 года. Предварительный анализ всего периода наблюдений за пожарами позволяет предположить, что 2021 год может оказаться следующим после 2003 и 2012 гг. аномальным годом по горимости лесов и размерам прямых пирогенных выбросов углерода в атмосферу.

Ключевые слова: *лесные пожары, пирогенные эмиссии, углерод, дистанционный мониторинг, лесные горючие материалы*

Оценки ежегодных прямых выбросов углекислого и других парниковых газов в атмосферу в результате лесных пожаров необходимы для расчета баланса углерода в лесах. Современные подходы к оценке прямых эмиссий газов от пожаров базируются на комплексном использовании результатов анализа масштабов поврежденных пожарами лесов, данных допозарных запасов фитомассы лесных горючих материалов (ЛГМ) и методов математического моделирования выбросов углерода в зависимости от типа пожара и объемов доминирующих типов ЛГМ (Kasischke, Bruhwiler, 2002; Isaev et al., 2002; Rinsland et al., 2007; Junpen et al., 2011; Dolman et al., 2012; Замолотчиков и др., 2017). Разработанный в ЦЭПЛ РАН и модифицированный авторами в разные годы метод предус-

матривает расчет запасов основных проводников горения лесных горючих материалов (ЛГМ) до пожара (Сочилова и др., 2009), определение типа пожара и его интенсивности по спутниковым продуктам (Стыценко и др., 2013) и соответствующих расходов ЛГМ и объемов парниковых газов (Ершов и др., 2009), выделяющихся в процессе горения на всей территории России. Данные о пожарах и масштабах нарушений лесов формируются в ходе выполнения научно-исследовательских работ и поступают из ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019). Преимуществом метода является оценка прямых пирогенных выбросов углерода, которая определяется на основе пространственного анализа карт типов пожаров, их интенсивности и допозарных запасов ЛГМ (Isaev

et al., 2002). Это позволяет получать статистическую оценку на разных пространственных уровнях лесного покрова России.

Апробация метода выполнялась для лесов России на национальном уровне за период наблюдений 2006-2015 гг. с использованием карты растительности TerraNorte RLC, запасов лесных горючих материалов до пожаров и средневзвешенных категорий состояния лесов, обусловленного пожарами (Ершов и др., 2016). В настоящее время созданная технология используется для ежегодной оценки прямых пожарных эмиссий углерода в лесах России с помощью данных дистанционного мониторинга. Последняя информация о размерах пожарных эмиссий за многолетний период наблюдений приводилась на конференции ИКИ РАН «Современные проблемы...» (Ершов, 2019). В соответствии с данными спутникового мониторинга (2002-2018 гг.), суммарная площадь поврежденных пожарами лесов составила за указанный период 78.6 млн. га, размеры прямых пожарных эмиссий углерода 578.5 МтС. Ежегодно в среднем по всей территории площади повреждений составляют 4.6 (± 2.4) млн. га и размеры выбросов – 34 (± 19) МтС/год.

В таблице 1 приводится статистика прямых пожарных эмиссий углерода и парниковых газов за 10 лет с 2010 по 2019 годы. На рисунке 1 отображена динамика площадей повреждений и размеров удельных эмиссий углерода за десятилетний период. По данным спутникового мониторинга суммарная площадь поврежденных пожарами лесов составила 51.1 млн. га, размеры прямых пожарных эмиссий углерода – 375.1 МтС. Ежегодно в среднем площадь поврежденных лесов России равна 5.1 (± 2.0) млн. га и размеры выбросов – 37.5 (± 12.3) МтС/год. Согласно данным дистанционного мониторинга, 2020 год по площади поврежденных пожарами лесов и размерам эмиссии

углерода сопоставим с 2016 годом. Хотя площадь поврежденных лесов превышает средние многолетние значения на 1.4 млн. га, абсолютные размеры выбросов углерода меньше на 0.91 МтС. Размеры выбросов парниковых газов также меньше средне-многолетних уровней за десятилетний период. Таким образом, при сравнении с данными, полученными за период с 2010 по 2019 годы, уровень пирогенных эмиссий в 2020 году является среднестатистическим.

Интересная картина наблюдается при анализе всего временного ряда пирогенных эмиссий углерода в период с 2002 по 2020 годы (рис. 2). На рисунке идентифицируются два аномальных года, а именно 2003 и 2012 годы, в которые абсолютные размеры пирогенных эмиссий составляли 127.1 МтС и 83.8 МтС, соответственно. Временной интервал между двумя аномальными годами равен 9 годам. Предположительно 2021 год может оказаться следующим чрезвычайным или аномальным по пожарам и масштабам пирогенных выбросов углерода в России, так как с 2012 года аномальных лет не наблюдалось.

Вторым важным заключением, которое можно сделать из анализа полученных результатов, является то, что площади поврежденных лесов и интенсивность прямых пирогенных выбросов углерода после 2012 года увеличились в 1.4 раза. До 2012 года средняя площадь поврежденных лесов и размеры эмиссий составляли 3.95 млн. га и 29.2 МтС, а за последние 9 лет – 5.7 млн. га и 41.1 МтС. В результате объем выбросов углерода за период с 2003 по 2011 годы (9 лет) сопоставим с объемом выбросов углерода от пожаров за период с 2012 по 2018 гг. (7 лет).

Пространственный анализ полученных оценок выбросов углерода от пожаров 2020 года на территории России показывает (рис. 3), что основной вклад вносят регионы Урала (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа), Сибири

(Томская область, Красноярский край, Иркутская область) и Дальнего Востока

(Республика Саха (Якутия), Забайкальский край и Амурская область).

Таблица 1. Оценки прямых эмиссий углерода и парниковых газов от лесных пожаров за последние 10 лет спутниковых наблюдений на территории Российской Федерации

Год	Эмиссии углерода, тС	Площадь поврежденных, га	Удельные эмиссии С, т/га	Эмиссии парниковых газов, т				
				CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
2010	15 321 461	2 107 599	7.27	56 178 690	2 145 005	245 143	1 685	60 914
2011	26 770 414	3 850 295	6.95	98 158 185	3 747 858	428 327	2 945	106 432
2012	83 821 145	11 365 539	7.38	307 344 198	11 734 960	1 341 138	9 220	333 249
2013	28 093 793	3 420 556	8.21	103 010 574	3 933 131	449 501	3 090	111 693
2014	35 882 796	4 441 315	8.08	131 570 251	5 023 591	574 125	3 947	142 660
2015	20 413 097	3 691 087	5.53	74 848 024	2 857 834	326 610	2 245	81 157
2016	37 188 902	6 341 329	5.86	136 359 307	5 206 446	595 022	4 091	147 852
2017	40 089 468	3 334 361	12.02	146 994 716	5 612 526	641 431	4 410	159 384
2018	43 339 633	6 622 768	6.54	158 911 988	6 067 549	693 434	4 767	172 306
2019	44 213 928	5 904 418	7.49	162 117 736	6 189 950	707 423	4 864	175 782
Всего	375 134 637	51 079 267	7.34	1 375 493 669	52 518 849	6 002 154	41 264	1 491 429
Среднее многолетнее значение	37 513 464	5 107 927	7.53	137 549 367	5 251 885	600 215	4 126	149 143
CO*	12 282 064	1 960 469	1.8	45 034 234	1 719 489	196 513	1 351	48 830
2020	36 603 092	6 465 819	5.66	134 211 337	5 124 433	585 649	4 026	145 523
Относительно средних многолетних значений	-910 372	+1 357 892	-1,68	-3 338 030	-127 452	-14 566	-100	-3 619

*среднее отклонение рассчитывается: $CO = \frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})$, где x – ежегодное значение показателя (эмиссия углерода и парниковых газов.); \bar{x} – среднее значение показателя за n (10) лет

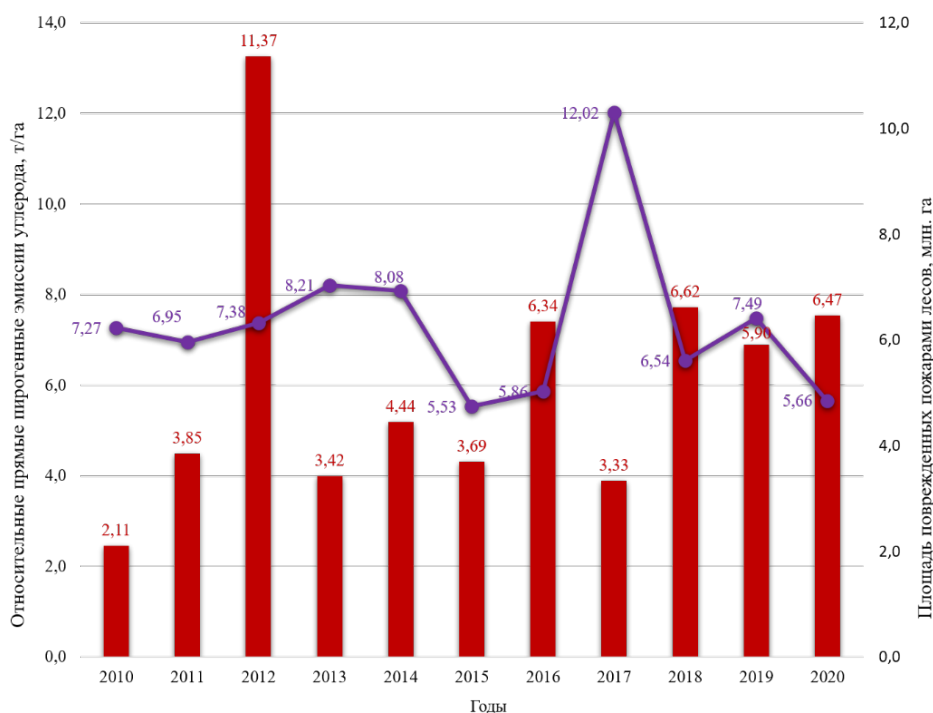


Рисунок 1. Динамика площадей поврежденных пожарами лесов и удельных прямых пирогенных эмиссий углерода в период с 2010 по 2020 годы

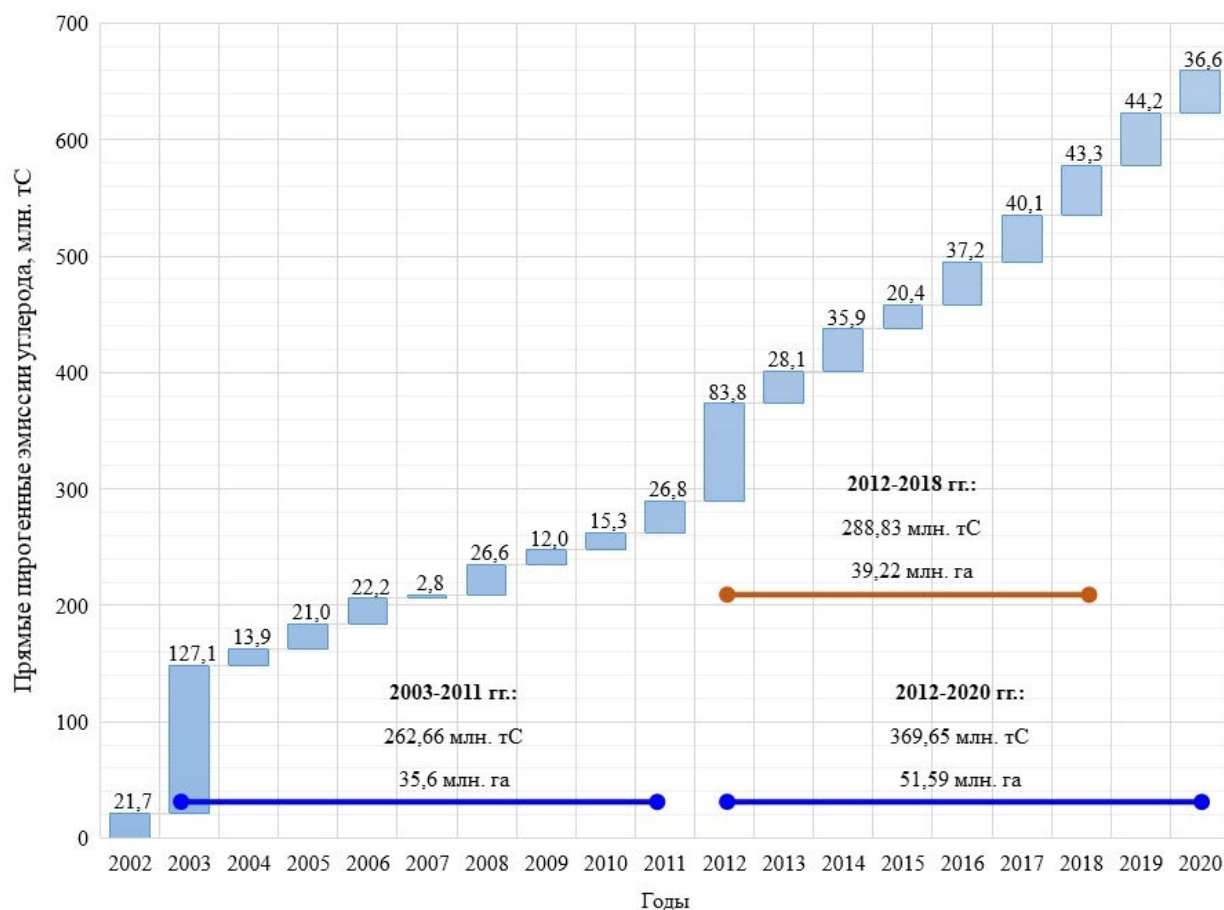


Рисунок 2. Динамика ежегодных эмиссий углерода от пожаров за период с 2002 по 2020 гг.

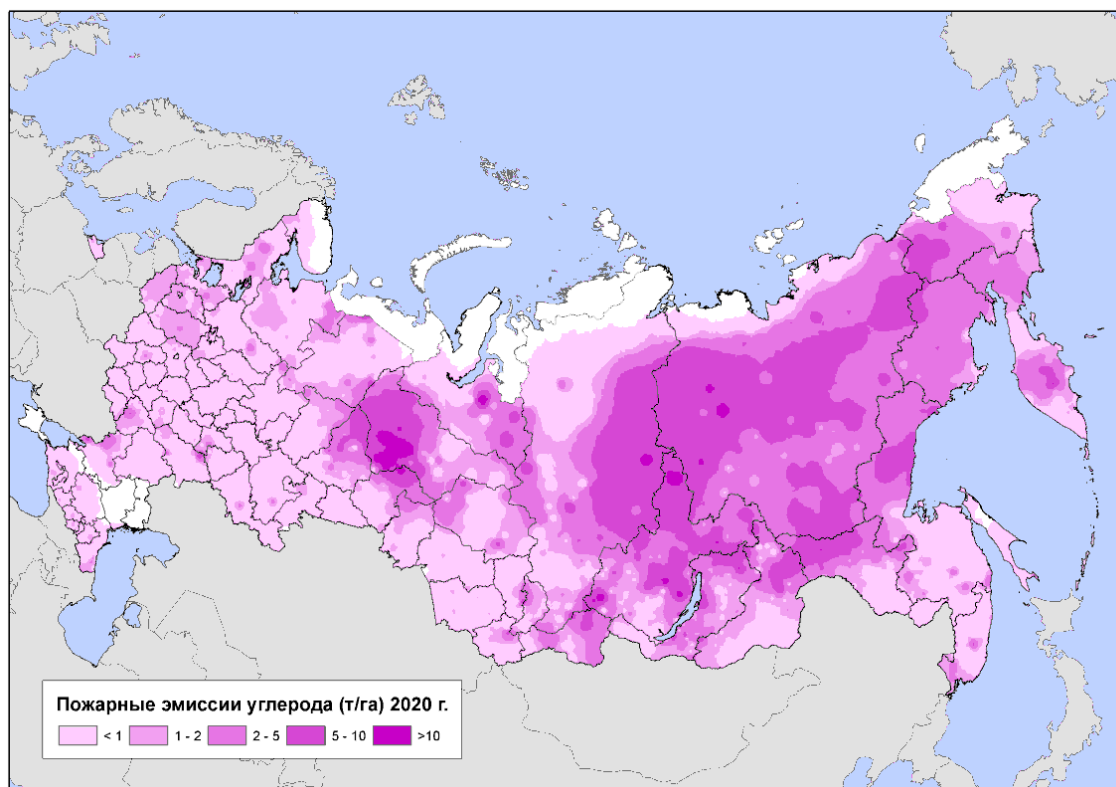


Рисунок 3. Карта распределения прямых удельных выбросов углерода (т/га) от пожаров 2020 года в лесах России

На рисунке 4 показано отклонение размеров удельных пирогенных эмиссий

углерода 2020 года относительно среднеголетних значений.



Рисунок 4. Карта отклонений прямых пирогенных эмиссий углерода в 2020 году от среднеголетних значений

В 2020 году превышение эмиссии углерода относительно среднеголетних значений наблюдаются в лесах западной части Ханты-Мансийского автономного округа, северных территорий Пермского края и Свердловской области, восточной части Красноярского края, северных и центральных районов Иркутской области и Якутии, на севере Хабаровского края и на большей части Магаданской области, а также на лесных землях Чукотского автономного округа и Камчатского края. В европейской части России небольшие превышения значений эмиссий углерода над

среднеголетними показателями носят локальный и фрагментарный характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенным оценкам, в 2020 году размеры выбросов углерода от лесных пожаров в России составили 36.5 МтС. Хотя площадь поврежденных лесов выше среднеголетних значений на 1.4 млн. га, масштаб пирогенных выбросов углерода ниже среднеголетних значений и по абсолютным значениям соответствует 2016 году. Отмечается рост ежегодных прямых выбросов углерода от пожаров в 1.4 раза после 2012 года. По объему эмиссий угле-

рода от пожаров в России период с 2012 по 2018 гг. (7 лет) оказался сопоставимым с периодом 2003-2011 гг. (9 лет). Предварительный анализ всего периода наблюдений за пожарами позволяет предположить, что 2021 год может оказаться следующим после 2003 и 2012 гг. аномальным годом по горимости лесов и размерам прямых пирогенных выбросов углерода, соизмеримым по масштабам повреждений лесов с 2003 и 2012 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ершов Д.В.* Оценка эмиссий углерода от пожаров в лесах России на основе результатов спутникового мониторинга // Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". М.: Институт космических исследований Российской академии наук, 2019. С. 519.
- Ершов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С., Сочилова Е.Н., Стыценко Ф.В.* Метод оценки пожарных эмиссий парниковых газов с использованием спутниковых данных: результаты применения для лесов России в 21 веке // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции. (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 12-17.
- Ершов Д.В., Ковганко К.А., Сочилова Е.Н.* ГИС-технология оценки пирогенных эмиссий углерода по данным Terra-MODIS и государственного учета лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. В.6. Т.2. С. 365-372
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В.* Современное сокращение стока углерода в леса России // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476. № 6. С. 719-721. DOI: 10.7868/S0869565217060251
- Сочилова Е.Н., Ершов Д.В., Коровин Г.Н.* Методы создания карт запасов лесных горючих материалов низкого пространственного разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. В.6. Т.2. С. 441-449.
- Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 254-266.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашицкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
- Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M. K., Beletti Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E.-D.* An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy

- covariance and inversion methods // *Biogeosciences*. 2012. Vol. 9. P. 5323-5340.
- Isaev A.S., Korovin G.N., Bartalev S.A., Ershov D.V., Janetos A., Kasishke E., Sugart H., French N., Orlick B., Murphy T. Using remote sensing for assessment of forest wildfire carbon emissions // *Climate Change*. 2002. Vol. 55. P. 235-249
- Junpen A., Garivait S., Bonnet S., Pongpullponasak A. Spatial and Temporal Distribution of Forest Fire PM10 Emission Estimation by Using Remote Sensing Information // *International Journal of Environmental Science and Development*. 2011. Vol. 2 (2). P. 156-161. DOI: 10.7763/IJESD.2011.V2.115
- Kasischke E. S., Bruhwiler L.P. Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and methane from boreal forest fires in 1998 // *J. Geophys. Res.* 2002. Vol. 107. P.8146.
- Rinsland C.P., Goldman A., Hannigan J. W., Wood S. W. Chiou, L. S., Mahieu E. Long-term trends of tropospheric carbon monoxide and hydrogen cyanide from analysis of high resolution infrared solar spectra // *J. Quant. Spectrosc. Ra.* 2007. Vol. 104. P. 40-51.
- REFERENCES**
- Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M.K., L. Belelli Marchesini, Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D, An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods, *Biogeosciences*, 2012, Vol. 9, pp. 5323-5340.
- Ershov D.V., Ocenka jemissij ugleroda ot pozharov v lesah Rossii na osnove rezul'tatov sputnikovogo monitoring (Assessment of carbon emissions from fires in Russian forests based on satellite monitoring), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* (Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space), 17th All-Russian Open Conference, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 2019, p. 519.
- Ershov D.V., Bartalev S.A., Isaev A.S., Sochilova E.N., Stycenko F.V., Metod ocenki pozharnyh jemissij parnikovyh gazov s ispol'zovaniem sputnikovyh dannyh: rezul'taty primenenija dlja lesov Rossii v 21 veke (Fire assessment method of greenhouse gas emission with satellite data: results of forest for Russia in the 21st century), *Ajerokosmicheskie metody i geoinformacionnye tehnologii v lesovedenii, lesnom hozjajstve i jekologii* (Aerospace Methods and GIS-Technologies in Forestry, Forest Management and Ecology), Proceedings of the VI All-Russian Conference, Moscow, Russia, April 20-22, 2016, pp. 12-17.
- Ershov D.V., Kovganko K.A., Sochilova E.N., GIS-tehnologija ocenki pirogennoj jemissij ugleroda po dannym Terra-MODIS i gosudarstvennogo ucheta lesov (GIS-technology of fire carbon emission assessment using Terra-Modis products and state forest account data), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 6, Vol. 2, pp.365-372.
- Isaev A.S., Korovin G.N., Bartalev S.A., Ershov D.V., Janetos A., Kasishke E., Sugart H., French N., Orlick B., Murphy T., Using remote sensing for assessment of forest wildfire carbon emissions, *Climate Change*, 2002, Vol. 55, pp. 235-249.
- Junpen A., Garivait S., Bonnet S., Pongpullponasak A., Spatial and Temporal Distribution of Forest Fire PM10 Emission Estimation by Using Remote Sensing Information, *International Journal of Environmental Science and Development*, 2011, Vol. 2 (2), pp.156-161.
- Kasischke E.S., Bruhwiler L.P., Emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, and

- methane from boreal forest fires in 1998, *J. Geophys. Res.*, 2002, Vol. 107, p. 8146.
- Loupian E.A., Proshin A.A., Bourtsev M.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Mazurov A.A., Marchenkov V.V., Matveev A.M., Radchenko M.V., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Opyt jekspluatacii i razvitija centra kollektivnogo pol'zovanija sistemami arhivacii, obrabotki i analiza sputnikovyh dannyh (CKP «IKI-Monitoring») (Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No 3, pp. 151-170.
- Rinsland C.P., Goldman A., Hannigan J.W., Wood S.W., Chiou, L.S., Mahieu E., Long-term trends of tropospheric carbon monoxide and hydrogen cyanide from analysis of high resolution infrared solar spectra, *J. Quant. Spectrosc. Ra.*, 2007, Vol. 104, pp. 40-51.
- Sochilova E.N., Ershov D.V., Korovin G.N., Metody sozdaniya kart zapasov lesnyh gorjuchih materialov nizkogo prostranstvennogo razresheniya (Methods of course resolution forest fuel load mapping), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 6, Vol. 2, pp. 441-449.
- Stytsenko F.V., Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Metod ocenki stepeni povrezhdenija lesov pozharami na osnove sputnikovyh dannyh MODIS (Post-fire forest tree mortality assessment method using MODIS satellite data), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No 1, pp.254-266.
- Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Shulyak P.P., Chestnykh O.V., Sovremennoe sokrashhenie stoka ugleroda v lesa Rossii (Recent decrease of carbon sink to Russian forests), *Doklady Akademii nauk*, 2017, Vol. 476, No 6, pp. 719-721.

ASSESSMENT OF DIRECT PYROGENIC CARBON EMISSIONS IN FORESTS OF RUSSIA FOR 2020 ACCORDING TO REMOTE MONITORING DATA

D.V. Ershov *, E.N. Sochilova

*Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences
117997 Moscow, Russian Federation, Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14*

*E-mail: dvershov67@gmail.com

Received: 14.12.2020

Accepted: 27.12.2020

The article presents the results of an assessment of pyrogenic Carbon emissions in the forests of Russia for 2020, carried out using remote monitoring methods. The area of forest damage from fires was 6.5 million hectares, and the amount of Carbon emissions was 36.5 MtC. Although the area of damages in the country as a whole is higher than the average annual values, the scale of pyrogenic carbon emissions is lower than the average annual values and in absolute terms corresponds to 2016. There has been an increase in fire Carbon emissions since 2012. A preliminary analysis of the entire observation period for fires suggests that 2021 may be the next year after 2003 and 2012 an abnormal year in terms of forest fire and the amount of direct fire Carbon emissions into the atmosphere.

Key words: *forest fires, pyrogenic emissions, carbon, remote sensing monitoring, forest fuels*

Рецензент: к.с.-х.н., заместитель директора ИЛ КарНЦ по научной работе Мошников С.А.