

УДК 528.88

## КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СИБИРСКИХ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ: ОСОБЕННОСТИ АНОМАЛИЙ 2019 г. И ТЕНДЕНЦИИ 20-ЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ

© 2020 г. Академик РАН В. Г. Бондур<sup>1,\*</sup>, академик РАН И. И. Мохов<sup>2,3</sup>,  
О. С. Воронова<sup>1</sup>, С. А. Ситнов<sup>2</sup>

Поступило 10.03.2020 г.

После доработки 12.03.2020 г.

Принято к публикации 13.03.2020 г.

На основании данных космического мониторинга проанализированы особенности аномальных природных пожаров в Сибири летом 2019 г. и тенденции их изменений в течение 2000–2019 гг. Оценены средние значения площадей пожаров, суммарные объемы эмиссий CO, CO<sub>2</sub> и аэрозоля PM<sub>2.5</sub>, их плотности (на единицу площади) в Сибирском федеральном округе России и его регионах за 20-летний период, а также количество, радиационная мощность и пространственное распределение пожаров на территории Северной Евразии в 2019 г. Отмечено, что площадь природных пожаров в Иркутской области в июле 2019 г. более чем в 4 раза превышала среднее значение для периода 2001–2019 гг., а связанные с ними суммарные объемы эмиссий CO, CO<sub>2</sub> и аэрозоля PM<sub>2.5</sub> в июле 2019 г. почти в 5 раз превышали их средние значения для этого периода. С использованием данных наземных наблюдений и реанализа выявлены региональные погодноклиматические особенности летом 2019 г., в частности проявление атмосферных блокирований, с которыми связано формирование экстремальных режимов природных пожаров и наводнений в сопредельных регионах Сибири.

*Ключевые слова:* космический мониторинг, дистанционное зондирование, природные пожары, эмиссии, атмосферные блокирования, климатические изменения

**DOI:** 10.31857/S2686739720050047

### ВВЕДЕНИЕ

Природные пожары являются одними из наиболее опасных последствий изменений климата. С ними связаны сильные региональные биосферные изменения, изменения альbedo подстилающей поверхности, гидрологического и радиационного баланса, углеродного обмена между атмосферой и наземными экосистемами [1–3]. В результате природных пожаров в атмосферу выбрасывается большое количество продуктов горения, в том числе аэрозольных частиц, углеродсодержащих (CO, CO<sub>2</sub>) и других малых газовых компонент [2–5]. Следует отметить, что в общем количестве лесных пожаров на планете доминируют пожары,

происходящие на территории Северной Евразии [2–6], хотя их интенсивность в североамериканских лесах в среднем выше, чем в евразийских [7].

На фоне глобальных климатических изменений последних десятилетий проявляются сильные региональные температурные, циркуляционные и гидрологические аномалии, которые вызывают, в том числе, мощные пожары такие, например, как летом 2019 г. в Сибири [6] или летом 2010 г. в европейской части территории России [8]. На основе расчетов с использованием региональной климатической модели [1] был оценен риск лесных пожаров для российских регионов с учетом потенциально возможных изменений климата в XXI веке. Формированию режимов пожаров способствует то, что в теплые месяцы года, в частности в среднеширотных регионах Северной Евразии, с ростом температуры уменьшается в целом общее количество осадков [9]. Длительные аномалии, характеризующиеся засушливыми условиями летних сезонов в средних широтах, связаны с блокирующими антициклонами (блокинами) в тропосфере. Показано, что при общем потеплении может заметно увели-

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга “Аэрокосмос”, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*E-mail: vgbondur@aerocosmos.info

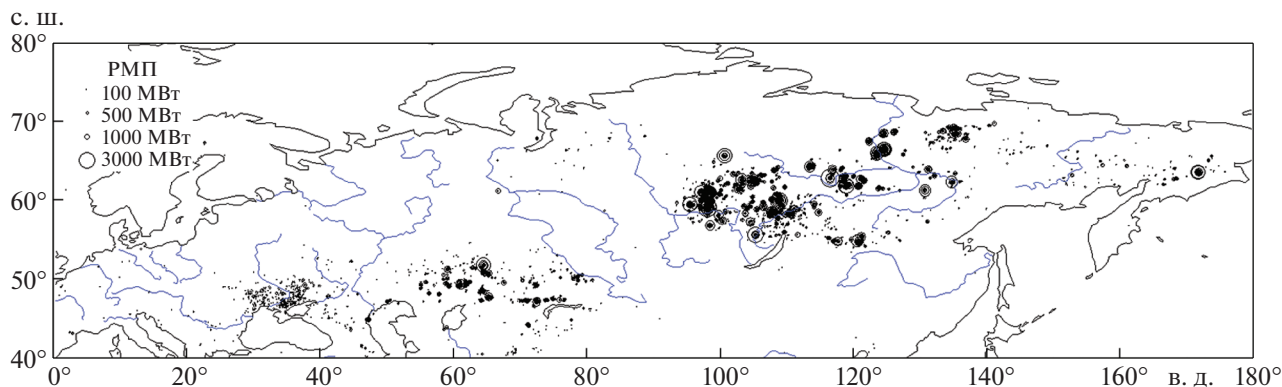


Рис. 1. Пространственное распределение пожаров в июле 2019 г. по данным MODIS/Terra. Размер символа, обозначающего пожар, зависит от радиационной мощности пожара (РМП).

чиваться роль атмосферных блокингов, способствующих формированию природных пожаров [10].

В сообщении представлены результаты анализа аномальных сибирских пожаров, происходивших летом 2019 г., на фоне тенденций климатических изменений для последних двух десятилетий (2000–2019 гг.) с использованием данных дистанционного зондирования из космоса, а также данных наземных наблюдений и реанализа для оценки соответствующих региональных погодноклиматических особенностей.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Площади, пройденные лесными пожарами (Burned Area Products), определялись по данным космического мониторинга, с использованием системы, созданной в НИИ “Аэрокосмос” [2–5, 8]. По спутниковым данным MODIS (MOD14) оценивались объемы эмиссий малых газовых компонент и мелкодисперсных аэрозолей (PM<sub>2.5</sub>) от природных пожаров. Для этого использовался модифицированный метод Сейлера-Крутцена с учетом корректирующего коэффициента для уточнения значений площадей территорий, пройденных огнем, плотности распределения биомассы на данной площади, а также доли сгоревшей биомассы [2–5, 11].

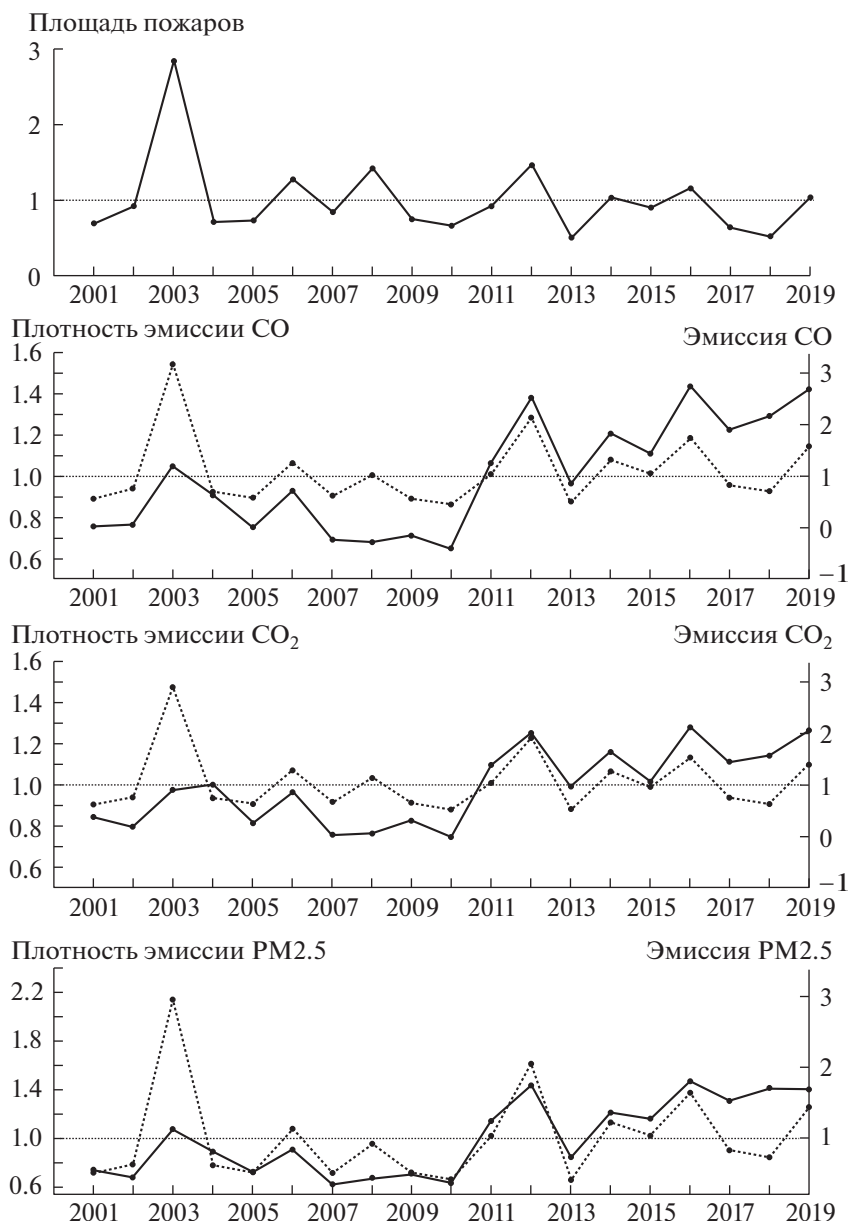
Кроме того, по спутниковым данным анализировались количество и радиационная мощность пожаров в период с ноября 2000 г. по октябрь 2019 г. с достоверностью диагностирования пожара не ниже 80%. Для этого использовались данные MODIS с пространственным разрешением  $1 \times 1$  км (Active Fire Products, C6, L2), полученное системой FIRMS (Fire Information for Resource Management System, <https://earthdata.nasa.gov>), которые обрабатывались по стандартному алгоритму [12]. Привлекались также данные NCEP/NCAR ре-

анализа (<http://www.esrl.noaa.gov>) с пространственным разрешением  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , доступные на 17 уровнях в атмосфере.

На рис. 1 представлено пространственное распределение пожаров в Северной Евразии в июле 2019 г. с характеристикой радиационной мощности пожаров (РМП). Согласно рис. 1, летом 2019 г. здесь доминировали сибирские пожары. Например, всего на территории с координатами ( $50^\circ$ – $75^\circ$  с.ш.,  $60^\circ$ – $140^\circ$  в.д.) в июле 2019 г. по спутниковым данным было детектировано около 29 тыс. очагов горения с суммарной радиационной мощностью около 3 ТВт. Средняя РМП в этот месяц превышала 100 МВт, а медианная РМП – 50 МВт. Пожары максимальной интенсивности выявлены 8 июля в Нижнем Приангарье ( $59^\circ$  с.ш.,  $98^\circ$  в.д.) с РМП около 3.6 ГВт) и 24 июля на юго-западе Якутии ( $63^\circ$  с.ш.,  $117^\circ$  в.д.) с РМП, составлявшей более 3.5 ГВт).

На рис. 2 приведены полученные по космическим данным нормированные на средние значения за период с 2001 г. по 2019 г. изменения величины площадей пожаров в Сибирском федеральном округе, а также оценки связанных с ними нормированных суммарных объемов эмиссий углеродсодержащих примесей CO, CO<sub>2</sub> и мелкодисперсных аэрозолей PM<sub>2.5</sub> и их плотностей на единицу площади пожаров (см. также [6]). Для периода времени с 2001 по 2019 г. площади природных пожаров в Сибирском федеральном округе составляли в среднем 69.5 тыс. км<sup>2</sup>. Суммарные годовые объемы эмиссий при этом составляли в среднем 8.1 млн т CO, 141.6 млн т CO<sub>2</sub> и 1.0 млн т аэрозоля PM<sub>2.5</sub>. Соответствующие средние значения плотности эмиссий на единицу площади пожаров превышали 110 т на км<sup>2</sup> для CO, 2 тыс. т на км<sup>2</sup> для CO<sub>2</sub> и около 14 т на км<sup>2</sup> для аэрозоля PM<sub>2.5</sub>.

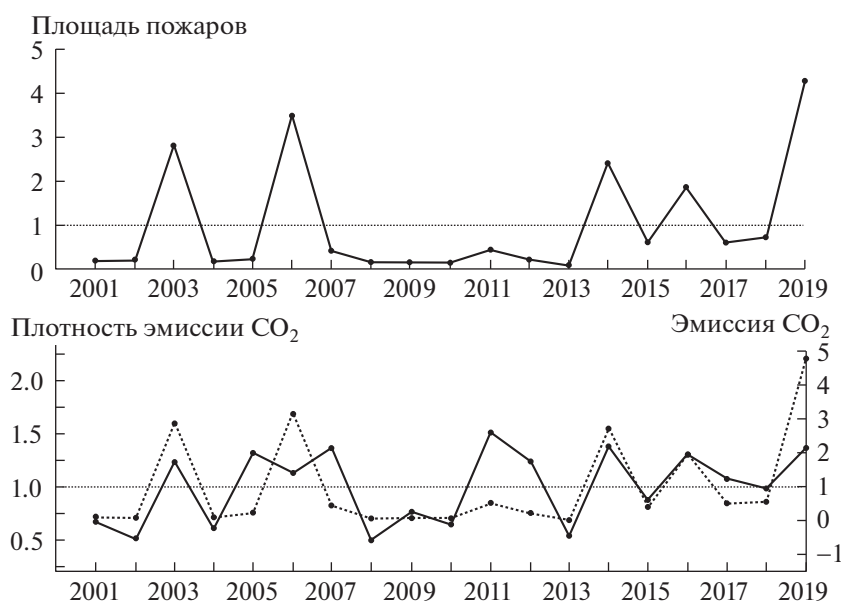
Согласно рис. 2, в последнее десятилетие в Сибирском федеральном округе проявляется общее



**Рис. 2.** Нормированные на средние значения для периода 2001–2019 гг. значения площади природных пожаров в Сибирском федеральном округе, а также связанные с ними нормированные суммарные эмиссии (пунктир) и плотности эмиссий (сплошные кривые) CO, CO<sub>2</sub> и PM2.5 на единицу площади пожаров.

увеличение плотности эмиссий в атмосферу углеродсодержащих примесей CO, CO<sub>2</sub> и аэрозолей PM2.5, связанных с пожарами. При этом заметных тенденций изменений площадей природных пожаров в этом регионе и суммарных за год объемов эмиссий в атмосферу примесей, связанных с пожарами, не отмечено, кроме рекордного 2003 г. Это подтверждает вывод, сделанный в [2], о преимущественном вкладе в объемы эмиссий вредных примесей, связанных с пожарами, происходящими в бореальных лесах Сибири.

На рис. 3. представлены полученные по космическим данным нормированные на средние значения для периода 2001–2019 гг. величины площадей природных пожаров, происходивших на территории Иркутской области в июле 2019 г. и связанных с ними нормированных суммарных объемов эмиссий CO<sub>2</sub> и плотностей эмиссий CO<sub>2</sub> на единицу площади пожаров. По результатам анализа данных дистанционного зондирования из космоса для 20-летнего периода времени (2001–2019 гг.) средняя площадь природных пожаров в Иркутской области в июле составляла в



**Рис. 3.** Нормированные на средние значения для периода 2001–2019 гг. значения площадей природных пожаров в Иркутской области в июле, а также связанные с ними нормированные суммарные эмиссии (пунктир) и плотности эмиссий (сплошные кривые) CO<sub>2</sub> на единицу площади пожаров.

среднем 2.6 тыс. км<sup>2</sup>. При этом средние суммарные объемы эмиссий составляли здесь 646 тыс. т СО, 9.7 млн. т СО<sub>2</sub> и 83 тыс. т аэрозоля РМ2.5. Соответствующие средние значения плотностей эмиссий на единицу площади пожаров с 2001 по 2019 г. в этом регионе составили около 200 т на км<sup>2</sup> для СО, более 3 тыс. т на км<sup>2</sup> для СО<sub>2</sub> и около 25 т на км<sup>2</sup> для аэрозолей.

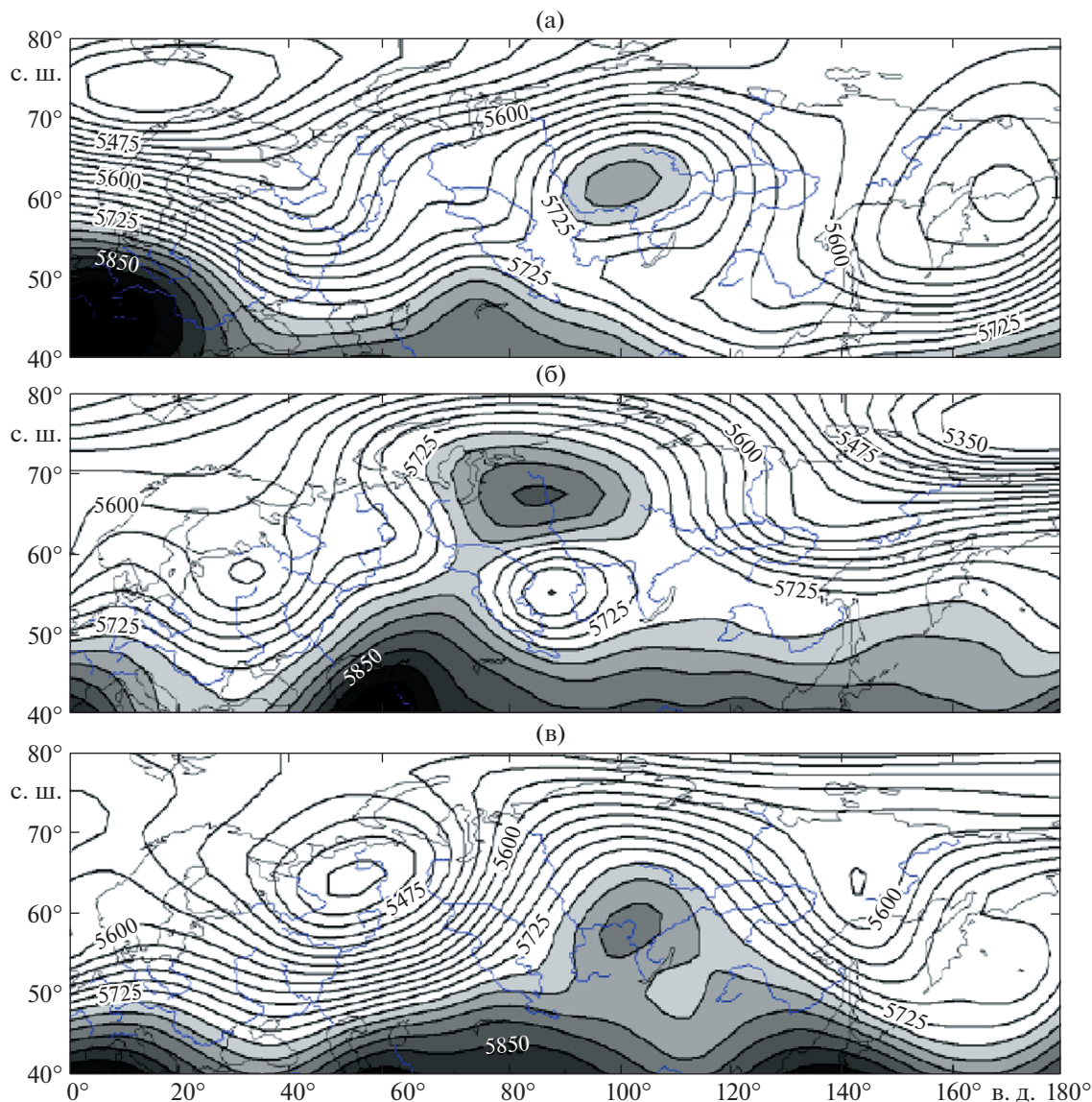
В то же время в июле 2019 г. в Иркутской области выявлены рекордные значения площадей природных пожаров (11.1 тыс. км<sup>2</sup>) и связанных с ними объемов эмиссий примесей в атмосферу, в том числе СО<sub>2</sub> (более 46 млн т), СО (более 3 млн т) и аэрозоля РМ2.5 (около 400 тыс. т). Площадь природных пожаров в этом регионе в июле 2019 г. более чем в 4 раза превышала среднее значение для периода 2001–2019 гг. А соответствующие суммарные объемы эмиссий СО, СО<sub>2</sub> и аэрозоля в июле 2019 г. почти в 5 раз превышали средние значения для периода 2001–2019 гг.

Средняя за год площадь природных пожаров в Иркутской области для пожароопасного периода с апреля по октябрь с 2001 по 2019 г. составила около 11 тыс. км<sup>2</sup>. Соответствующие средние значения суммарных эмиссий составляли около 2 млн. т СО, около 34 млн. т СО<sub>2</sub> и чуть меньше 300 тыс. т аэрозоля (РМ2.5). Средние значения плотности эмиссий на единицу площади пожаров составляли около 170 т на км<sup>2</sup> для СО, около 3 тыс. т на км<sup>2</sup> для СО<sub>2</sub> и более 20 т на км<sup>2</sup> для аэрозоля РМ2.5.

В целом за 2019 г. площадь природных пожаров в Иркутской области почти вдвое превышала среднее значение для периода 2001–2019 гг., но при этом была в 1.5 раза меньше, чем в рекордных 2003 и 2006 г. Соответствующие суммарные эмиссии СО, СО<sub>2</sub> и аэрозоля РМ2.5 в 2019 г. в 2.5 раза превышали средние значения для периода 2001–2019 гг., тем не менее были заметно меньше, чем в рекордных 2003 и 2006 г.

#### АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СИБИРИ ЛЕТОМ 2019 ГОДА

С использованием данных наземных наблюдений и реанализа исследованы погодные особенности в регионах Северной Евразии. На рис. 4 приведены пространственные распределения поля геопотенциала на уровне 500 гПа над территорией Северной Евразии для различных периодов летом 2019 г. Анализ рис. 4 свидетельствует о проявлениях атмосферного блокирования западного переноса в тропосфере. При этом в течение продолжительного времени над Сибирью устанавливался блокирующий антициклон с положительными аномалиями геопотенциала. В области влияния блокирующего антициклона отмечалась высокая температура без осадков, способствующая возникновению интенсивных природных пожаров [6]. Для сопредельных регионов отмечались отрицательные аномалии геопотенциала с циклоническим режимом. Граница антициклонического и циклонического



**Рис. 4.** Особенности поля геопотенциала на уровне 500 гПа над Северной Евразией летом 2019 г.: (а) 26 июня – 2 июля, (б) 16–20 июля, (в) 6–10 августа.

ского режимов проходила, в частности, через Иркутскую область.

В условиях блокирования высок риск аномальных региональных осадков. Именно это привело в конце июня 2019 г. к наводнению в Иркутской области, часть которой была в области пониженного давления. Вторая волна наводнения в Иркутской области была отмечена в конце июля 2019 г. При этом в другой части области – в области повышенного давления – отмечались аномальные пожары.

Контрастные антициклонический и циклонический режимы в сопредельных регионах проявились в период времени с 16 по 20 июля 2019 г. (рис. 4б). Расположение антициклона к северу от циклона способствовало уменьшению меридио-

нального градиента давления, который в умеренных широтах направлен в среднем к югу. При этом зональный перенос с запада на восток в тропосфере средних широт, определяемый геострофическим балансом силы Кориолиса и градиента давления, ослабевает.

Режим атмосферного блокирования с отсутствием зонального переноса в летние месяцы способствует формированию контрастных региональных погодно-климатических аномалий, характеризующихся засухами, приводящими к пожарам, и наводнениями на смежных территориях. Режимы блокирования западного потока в тропосфере средних широт могут формироваться комбинацией блокирующего антициклона с одним

(блокирование дипольного типа) или двумя (омега-блокирование) сопредельными циклонами.

Следует отметить, что 2019 г. начался в фазе Эль-Ниньо со значимыми положительными аномалиями в экваториальных широтах Тихого океана. С явлениями Эль-Ниньо связаны сильнейшие межгодовые вариации среднегодовой глобальной температуры у поверхности. В подобные годы глобальная температура у поверхности обычно выше, чем в нейтральные годы – годы без формирования Эль-Ниньо.

Летние месяцы июнь и июль 2019 г. отмечались как самые теплые для Земли в целом за время инструментальных наблюдений. Эффекты Эль-Ниньо отмечаются и в погодно-климатических аномалиях, которые связаны с атмосферными блокированиями [13]. Эффекты явлений Эль-Ниньо существенно различаются в различных регионах, в том числе на территории Российской Федерации. Так, лето 2019 г. выделилось холодным режимом в европейской части России и высокой пожарной активностью в регионах Восточной Сибири, которые характеризуются сильной внутригодовой и межгодовой изменчивостью количества и радиационной мощности пожаров (см., например, [5–7]).

Формирование режимов с блокированием зонального переноса в тропосфере с чередованием положительных и отрицательных аномалий давления в атмосфере и температуры в сопредельных регионах можно объяснить стационарованием в тропосфере средних широт волн Россби, распространяющихся с востока на запад, в зональном геострофическом потоке с запада на восток. Возникновение режимов атмосферного блокирования зависит от изменений глобального климата, в том числе от климатических вариаций, связанных с процессами Эль-Ниньо [13, 14]. При этом повторяемость атмосферного блокирования летом над азиатской частью территории России (и западной частью Тихого океана) выше в годы, начинающиеся в фазе Эль-Ниньо, как 2019 год.

К началу 2019 г. положительные аномалии температуры отмечались и в центральной, и в восточной части экваториального Тихого океана. Наибольшая вероятность экстремально высокой приповерхностной температуры и засухи в весенне-летние месяцы в регионах европейской части территории России – для лет, начинающихся в фазе Эль-Ниньо и заканчивающихся в фазе Ланья – с отрицательными аномалиями температуры в экваториальных широтах Тихого океана [14]. Так было, например, в 2010 г., когда в июле-августе в европейской части территории России была аномальная жара и бушевали сильнейшие пожары [8]. В то же время для ряда регионов в азиатской части России (без Дальнего Востока)

это происходит при фазе Эль-Ниньо с начала до конца года. Так было, например, в 2015 г.

Для 2019 г., начавшегося в фазе Эль-Ниньо, к августу произошел переход к нейтральной фазе с ее продлением до конца года. Для подобных фазовых переходов оценена повышенная вероятность режима засух в ряде азиатских регионов [14]. Как и в 2019 г., при аналогичном фазовом переходе в 2003 г. также была аномальная жара в Западной Европе и очень высокая пожарная активность в Восточной Сибири, в частности к северу от Байкала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием космических данных выявлена тенденция увеличения плотности эмиссий в атмосферу вредных примесей, в том числе CO, CO<sub>2</sub> и аэрозоля PM2.5, связанных с крупномасштабными пожарами в Сибирском федеральном округе, на фоне региональных и глобальных изменений последних двух десятилетий. При этом заметных тенденций изменений площадей природных пожаров в этом регионе и суммарных за год объемов эмиссий в атмосферу примесей, связанных с пожарами, не отмечено.

Анализ данных космического мониторинга показал, что для периода времени с 2001 по 2019 г. площади природных пожаров в Сибирском федеральном округе составляли в среднем 69.5 тыс. км<sup>2</sup>. Суммарные годовые объемы эмиссий при этом составляли в среднем 8.1 млн. т CO, 141.6 млн т CO<sub>2</sub> и 1.0 млн т аэрозоля PM2.5. Соответствующие средние значения плотности эмиссий на единицу площади пожаров превышали 110 т на км<sup>2</sup> для CO, 2 тыс. т на км<sup>2</sup> для CO<sub>2</sub> и около 14 т на км<sup>2</sup> для аэрозоля PM2.5.

В целом летом 2019 г. на территории Северной Евразии доминировали сибирские пожары. Всего на территории с координатами (50°–75° с.ш., 60°–140° в.д.) в июле 2019 г. по спутниковым данным было детектировано около 29 тыс. очагов горения с суммарной радиационной мощностью около 3 ТВт. Средняя РМП в этот месяц превышала 100 МВт, а медианная РМП – 50 МВт. Пожары максимальной интенсивности отмечались 8 июля в Нижнем Приангарье (59° с.ш., 98° в.д.) с РМП около 3.6 ГВт) и 24 июля на юго-западе Якутии (63° с.ш., 117° в.д.) с РМП, составлявшей более 3.5 ГВт).

Аномальные природные пожары с рекордными площадями, пройденными огнем, и связанными с ними эмиссиями вредных примесей в атмосферу, в том числе CO<sub>2</sub> (более 46 млн. т), CO (более 3 млн. т) и аэрозоля PM2.5 (около 400 тыс. т) выявлены в Иркутской области в июле 2019 г. Установлено, что средняя за год площадь природных пожаров в этом регионе с апреля по октябрь

для периода 2001–2019 г. составляла около 11 тыс. км<sup>2</sup>. Соответствующие средние значения суммарных эмиссий около 2 млн. т СО, около 34 млн. т СО<sub>2</sub> и несколько меньше 300 тыс. т аэрозоля (PM<sub>2.5</sub>). Средние значения плотности эмиссий на единицу площади пожаров в этом регионе составили около 170 т на км<sup>2</sup> для СО, около 3 тыс. т на км<sup>2</sup> для СО<sub>2</sub> и более 20 т на км<sup>2</sup> для аэрозоля (PM<sub>2.5</sub>). В 2019 г. площадь природных пожаров в целом за год почти вдвое превышала среднее значение для периода 2001–2019 гг., но при этом была в полтора раза меньше, чем в рекордном 2003 г. Соответствующие суммарные эмиссии СО, СО<sub>2</sub> и аэрозоля в 2019 г. в 2.5 раза превышали средние значения для периода 2001–2019 гг.; тем не менее были заметно меньше, чем в рекордных 2003 и 2006 г. В июле 2019 г. площади природных пожаров в Иркутской области более чем в 4 раза превышали среднее значение для периода 2001–2019 гг., а связанные с ними суммарные объемы эмиссий СО, СО<sub>2</sub> и аэрозоля PM<sub>2.5</sub> в июле 2019 г. почти в 5 раз превышали их средние значения для периода 2001–2019 гг.

С использованием данных наземных наблюдений и реанализа исследованы региональные погодноклиматические особенности в Сибири в 2019 г. с проявлением атмосферных блокирований, способствующих формированию экстремальных режимов природных пожаров и наводнений в сопредельных регионах.

Согласно модельным оценкам, при продолжении глобального потепления следует ожидать усиления блокинговой активности в атмосфере, в частности над континентальными регионами, что в сочетании с летними тенденциями иссушения во внутриконтинентальных среднеширотных регионах способствует увеличению вероятности природных пожаров и их негативных последствий. Возможно также усиление региональных эффектов в связи с тенденцией усиления и учащения квазициклических процессов типа Эль-Ниньо при глобальном потеплении [15].

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, MOST (Китай) и DST (Индия) в рамках научного проекта № 19–55–80021, проекта РФФИ (17–29–05098) и программы РАН “Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования”. Анализ особенностей связи региональных процессов с глобальными проводился в рамках проекта РНФ 19–17–00240.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М.* Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // ДАН. 2006. Т. 411. № 6. С. 808–811.

2. *Бондур В.Г.* Космический мониторинг эмиссий малых газовых компонент и аэрозолей при природных пожарах в России // Исследование Земли из космоса. 2015. № 6. С. 21–35. <https://doi.org/10.7868/S0205961415060032>
3. *Бондур В.Г., Гинзбург А.С.* Эмиссия углеродсодержащих газов и аэрозолей от природных пожаров на территории России по данным космического мониторинга // ДАН. 2016. Т. 466. № 4. С. 473–477. <https://doi.org/10.7868/S0869565216040186>
4. *Бондур В.Г., Гордо К.А.* Космический мониторинг площадей, пройденных огнем, и объемов эмиссий вредных примесей при лесных и других природных пожарах на территории Российской Федерации // Исследование Земли из космоса. 2018. № 3. С. 41–55. <https://doi.org/10.7868/S020596141803003X>
5. *Бондур В.Г., Гордо К.А., Кладов В.Л.* Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории северной Евразии по данным космического мониторинга // Исследование Земли из космоса. 2016. № 6. С. 3–20. <https://doi.org/10.7868/S0205961416060105>
6. *Воронова О.С., Зима А.И., Кладов В.Л., Черепанова Е.В.* Аномальные пожары на территории Сибири летом 2019 года // Исследования Земли из космоса. 2020. № 1. С. 70–82.
7. *Ситнов С.А., Мохов И.И.* Сравнительный анализ характеристик пожаров в бореальных лесах Евразии и северной Америки по спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. 2018. № 2. С. 21–37.
8. *Бондур В.Г.* Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исследование Земли из космоса. 2011. № 3. С. 3–13.
9. *Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч.* Оценки возможных региональных изменений гидрологического режима в XXI веке на основе глобальных климатических моделей // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 150–165.
10. *Мохов И.И., Тимажев А.В.* Атмосферные блокирования и изменения их повторяемости в XXI веке по расчетам с ансамблем климатических моделей // Метеорология и гидрология. 2019. № 6. С. 5–16.
11. *Seiler W., Crutzen P.J.* Estimates of Gross and Net Fluxes of Carbon between the Biosphere and Atmosphere from Biomass Burning // Clim. Change. 1980. V. 2. № 3. P. 207–247.
12. *Giglio L., Schroeder W., Justice C.O.* The Collection 6 MODIS Active Fire Detection Algorithm and Fire Products // Rem. Sens. Environ. 2016. V. 178. P. 31–41.
13. *Lupo A.R., Jensen A.D., Mokhov I.I., Timazhev A., Eichler T., Efe B.* Changes in Global Blocking Character during Recept Decades // Atmosphere. 2019. V. 10. № 2. P. 92.
14. *Мохов И.И., Тимажев А.В.* Оценки риска погодноклиматических аномалий в российских регионах в связи с явлениями Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 22–33.
15. *Mokhov I.I., Khvorostyanov D.V., Eliseev A.V.* Decadal and Longer Term Changes in El Nino Southern Oscillation Characteristics // Intern. J. Climatol. 2004. V. 24. P. 401–414.

## SATELLITE MONITORING OF WILDFIRES IN SIBERIA AND THEIR EFFECTS: FEATURES OF 2019 ANOMALIES AND TRENDS OF 20-YEAR CHANGES

Academician of the RAS **S V. G. Bondur**<sup>a,#</sup>, Academician of the RAS **I. I. Mokhov**<sup>b,c</sup>,  
**O. S. Voronova**<sup>a</sup>, and **S. A. Sitnov**<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *AEROCOSMOS Research Institute for Aerospace Monitoring, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup> *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>c</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

<sup>#</sup> *E-mail: vgbondur@aerocosmos.info*

Satellite monitoring data have allowed us to analyze the features of anomalous wildfires in Siberia in the summer of 2019 and the trends of their changes in 2000–2019. Average values of fire areas, normalized total CO, CO<sub>2</sub>, and PM2.5 aerosol emission volumes, and their densities (per area unit) were assessed for the Siberian Federal District and its territories for the 20-year period, as well as the number, fire radiative power, and fire spatial distribution in Northern Eurasia in 2019. It was mentioned that the areas of wildfires in the Irkutsk region in July 2019 were 4-fold higher than the average value for the period of 2001–2019, and the associated total emissions of CO, CO<sub>2</sub>, and PM2.5 aerosol in July 2019 were almost 5-fold higher than their average values for this period. Using data from ground-based observations and reanalysis, regional weather and climate features were identified in the summer of 2019, in particular, the manifestation of atmospheric blockings, which were linked to the formation of extreme wildfires and floods in the neighboring regions of Siberia.

*Keywords:* satellite monitoring, remote sensing, wildfires, emissions, atmospheric blockings, climate changes