

Д.Ю. ВАСИЛЬЕВ<sup>\*,\*\*,\*\*\*</sup>, С.Е. КУЧЕРОВ<sup>\*\*\*,\*\*\*\*</sup>, В.А. СЕМЁНОВ<sup>\*\*,\*\*\*\*\*</sup>, А.А. ЧИБИЛЁВ<sup>\*\*\*</sup>

\*Уфимский государственный авиационный технический университет,  
450008, Уфа, ул. Карла Маркса, 12, Россия, vasilev.dyu@ugatu.su

\*\*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 3, Россия, vasilev.dyu@ugatu.su, vasemenov@ifaran.ru

\*\*\*Институт степи УрО РАН, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11, Россия,  
vasilev.dyu@ugatu.su, skucherov@mail.ru, orensteppe@mail.ru

\*\*\*\*Уфимский институт биологии УФИЦ РАН,  
450054, Уфа, пр. Октября, 69, Россия, skucherov@mail.ru

\*\*\*\*\*Институт географии РАН,  
119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия, vasemenov@ifaran.ru

## ОЦЕНКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО УРАЛА

*С использованием данных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях, расположенных на территории Южного Урала, рассчитаны комплексный показатель пожарной опасности и индекс лесной пожарной опасности для теплого сезона (май–сентябрь) с 1978 по 2020 г. Базой для анализа послужили суточные значения приземной температуры воздуха, атмосферных осадков, осредненной скорости ветра, а также показатель увлажнения, дефицит точки росы и число дней после последнего дождя. Произведен корреляционный анализ между критическими значениями индексов пожарной опасности и фактическими данными по лесным пожарам. Выявлена тесная связь между экстремальными значениями индексов пожарной опасности и аномально жаркими годами. Установлена общая тенденция изменений для большинства метеорологических станций по максимальным значениям индексов пожарной опасности. Приводится сравнение индексов пожарной опасности с результатами космического мониторинга природных пожаров со спутника Terra-MODIS. Обнаружено увеличение числа случаев опасных метеорологических явлений с 1995 по 2000 г. и уменьшение числа дней с критическими значениями индексов пожарной опасности с 2000 по 2005 г. Индексы пожарной опасности по-разному отражают совокупность метеорологических условий, способствующих возникновению пожаров. Так, индекс лесной пожарной опасности, в отличие от комплексного показателя пожарной опасности, помимо метеорологических, учитывает и экологические факторы. Полученные в результате вычислений значения индексов пожарной опасности были структурированы в виде базы данных, которая может быть использована в метеорологических прогнозах для оценки и прогнозирования пожарных условий по условиям погоды.*

**Ключевые слова:** температура воздуха, атмосферные осадки, лесные ресурсы, индексы пожарной опасности, природные пожары, дистанционное зондирование Земли.

D.Yu. VASILYEV<sup>\*,\*\*,\*\*\*</sup>, S.E. KUCHEROV<sup>\*\*\*,\*\*\*\*</sup>, V.A. SEMENOV<sup>\*\*,\*\*\*\*\*</sup>, A.A. CHIBILEV<sup>\*\*\*</sup>

\*Ufa State Aviation Technical University, 450008, Ufa, ul. Karla Marksa, 12, Russia, vasilev.dyu@ugatu.su

\*\*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences,  
119017, Moscow, Pyzhevskii per., 3, Russia, vasilev.dyu@ugatu.su, vasemenov@ifaran.ru

\*\*\*Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, ul. Pionerskaya, 11,  
Russia, vasilev.dyu@ugatu.su, skucherov@mail.ru, orensteppe@mail.ru

\*\*\*\*Ufa Institute of Biology, Russian Academy of Sciences,  
450054, Ufa, prospekt Oktyabrya, 69, Russia, skucherov@mail.ru

\*\*\*\*\*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,  
119017, Moscow, Staromonetnyi per., 29, Russia, vasemenov@ifaran.ru

## ASSESSING METEOROLOGICAL FACTORS OF FIRE HAZARD ON THE TERRITORY OF THE SOUTHERN URALS

*Using instrumental observation data from meteorological stations located in the Southern Urals, a comprehensive fire hazard index and a forest fire hazard index for the 1978 to 2020 warm season (May–September) were calculated. The analysis was based on the daily values of surface air temperature, amount of precipitation, dew point deficit, average wind speed, as well as*

gain and number of days after the last rain. A correlation analysis between critical values of fire hazard indices and the forest fire actual data was carried out, revealing a close relationship between the extreme values of fire hazard indices and abnormally hot years. Fire hazard indices reflect the set of meteorological conditions conducive to the occurrence of fires in different ways. The forest fire hazard index, in contrast to the fire hazard complex indicator, in addition to the meteorological index, takes into account environmental factors. The calculated values of fire hazard indices were structured in the form of a database that can be used in meteorological forecasts to assess and predict fire conditions based on weather conditions. Comparison of the present data with results of wildfire space monitoring from the Terra-MODIS satellite are presented. An increase in dangerous meteorological conditions from 1995 to 2000 and a decrease in the number of days with critical values of fire hazard indices from 2000 to 2005 were established.

**Keywords:** air temperature, atmospheric precipitation, forest resources, fire hazard indices, wildfires, remote sensing of the Earth.

## ВВЕДЕНИЕ

По данным Росгидромета, с начала XXI в. на территории России отмечается значительный рост опасных погодных аномалий, в том числе так называемых волн жары, которые часто сопровождались природными пожарами [1]. Пожары, и прежде всего природные пожары, — одно из наиболее опасных природных явлений. Погодные условия при этом могут служить причиной возникновения пожаров и способствовать их дальнейшему развитию и распространению. По этой причине природные пожары могут служить своего рода индикаторами климатических изменений. В исследовании пожаров и их последствий обычно используются методы дистанционного зондирования [2–5], теории вероятностей и математической статистики [6–8], численного моделирования [9–11], а в некоторых случаях проводятся и физические эксперименты [12, 13].

С природными пожарами связаны изменения альбедо подстилающей поверхности, гидрологического и радиационного баланса, загрязнения атмосферы и почв, что в конечном итоге может привести и приводит к качественным и количественным переменам флоры и фауны отдельных территорий [14, 15]. Необходимо отметить весьма настораживающий факт, что количество природных (лесных) пожаров, возникающих на территории Северной Евразии [16–18], значительно превышает число аналогичных явлений в других лесных регионах планеты. Более того, согласно официальным данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (<https://www.fedstat.ru>), в России за последние годы продолжает расти как число лесных пожаров, так и площадь лесных земель, охваченных пожарами.

Общая площадь лесов в России составляет 11 788 000 км<sup>2</sup> (<https://forest.ru>), что приблизительно соответствует 70 % всей площади страны. Леса на территории Южного Урала занимают 59 772 км<sup>2</sup>, или 21 % от всей площади региона. Несмотря на относительно небольшую площадь лесных массивов, тенденция к увеличению количества лесных пожаров характерна и для Южного Урала. Важно отметить, что при этом годы с максимальным числом лесных пожаров совпадают с аномально жаркими годами. В этой связи определение степени и прогноза пожарной опасности (ПО) территории в связи с различными природными факторами становится насущной научно-практической задачей. Очевидно, что пожароопасная обстановка в лесах возникает при сухой и жаркой погоде и ее опасность только возрастает с увеличением продолжительности периода с такими погодными условиями [19, 20].

Важно отметить, что лесные пожары представляют собой многофакторные явления и на возгорание растительной массы влияют не только метеорологические, но и экологические факторы [21]. Целью настоящего исследования стала оценка влияния метеорологических и экологических факторов на возникновение пожаров.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В противопожарной практике основу оценки метеорологических и экологических факторов составляют индексы ПО, представляющие собой функциональную зависимость возможности возникновения пожаров от скорости ветра, атмосферных осадков, температуры воздуха, относительной влажности воздуха, видового состава лесной экосистемы, возраста и санитарного состояния древостоя, условий транспирации. В разных странах разработаны собственные индексы ПО. В России — это комплексный показатель пожарной опасности В.Г. Нестерова  $G$  (КППО) [22], рассчитываемый по формуле (1):

$$G = \sum_{i=1}^n T_i D_i, \quad (1)$$

где  $T$  — температура воздуха, °C;  $D$  — дефицит точки росы;  $n$  — число дней после последнего дождя. Показатель  $G$  рассчитывается на текущий день, и его размерность выражается в [(°C)<sup>2</sup>·сут].

В некоторых странах, например в Австралии, используется индекс лесной пожарной опасности А.Г. Макарура (ИЛПО) (McArthur Forest Fire Danger Index — FFDI) [22], формализующий влияние относительной влажности воздуха, максимальной температуры воздуха, осредненное значение скорости ветра и показателя влажности/засухи:

$$\text{FFDI} = 2e^{(-0,45 + 0,987 \ln \text{DF} - 0,0345\text{RH} + 0,0338T + 0,0234V)}, \quad (2)$$

где DF — показатель влажности/засухи (Drought Factor), который задается числом от 0 до 10 и определяет степень готовности к воспламенению, учитывающий отчасти экологические факторы; RH — относительная влажность (Relative Humidity), %;  $T$  — температура воздуха, °C;  $V$  — осредненная скорость ветра, км/ч.

В настоящей работе для оценки ПО рассчитывались оба этих индекса, не только для их последующего сопоставления, но и для определения, насколько хорошо они коррелируют с фактическими данными о лесных пожарах. Отметим, что вычислительные процедуры в виде формул (1) и (2) были реализованы в программе для ЭВМ<sup>1</sup>, и на их основе сформированы массивы данных по индексам ПО для территории Южного Урала<sup>2</sup>.

Вычислительной базой в данной работе послужили инструментальные наблюдения по основным метеорологическим характеристикам за 1978–2020 гг. с 12 метеостанций Росгидромета (<https://www.meteorf.ru>), расположенных на исследуемой территории (рис. 1). По полученным значениям КППО и ИЛПО с помощью специализированных шкал [22] определялись класс и степень (табл. 1). Методики вычисления обоих индексов ПО были разработаны для оценки потенциальной опасности возгорания на текущий момент (за сутки), тогда как их среднесезонные значения не были информа-

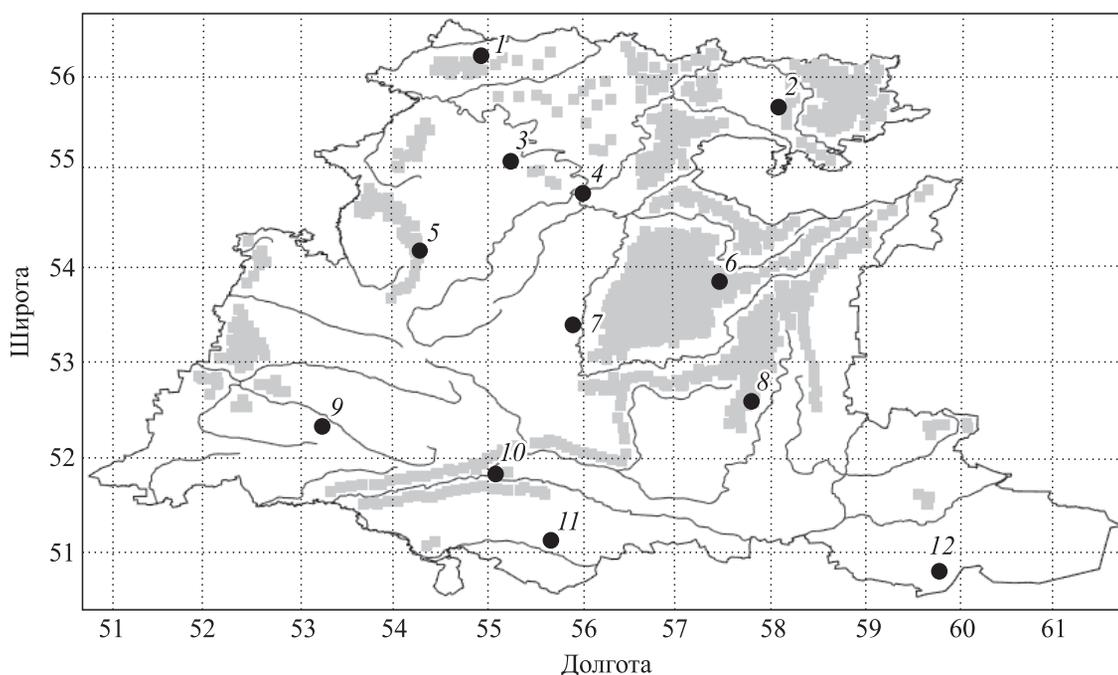


Рис. 1. Используемая метеорологическая сеть на территории Южного Урала.

Метеостанции: 1 — Янаул, 2 — Дуван, 3 — Кушнаренково, 4 — Уфа, 5 — Аксаково, 6 — Тукан, 7 — Стерлитамак, 8 — Зилаир, 9 — Сорочинск, 10 — Оренбург, 11 — Акбулак, 12 — Домбаровский. Серым цветом выделены лесные массивы (<https://rosleshoz.gov.ru/opendata>).

<sup>1</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661854. Реализация методов расчета индексов пожарной опасности / Д.Ю. Васильев, С.Г. Аксёнов, С.Е. Кучеров, В.А. Семёнов, А.А. Чибилёв, Д.В. Шабанов; правообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. № 2020660790; заявл. 21.09.2020.; зарегистр. 01.10.2020.

<sup>2</sup> Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622541. Двумерные массивы индексов пожарной опасности для территории Южного Урала / Д.Ю. Васильев, С.Г. Аксёнов, С.Е. Кучеров, В.А. Семёнов, Д.В. Шабанов, А.А. Чибилёв; правообладатель Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. № 2020622473; заявл. 30.11.2020.; зарегистр. 08.12.2020.

Шкалы соответствия значений индексов пожарной опасности [6]

КППО			ИЛПО	
Значение	Класс	Степень	Значение	Степень
До 300	I	Отсутствует	От 0 до 5	Низкая
От 300 до 1000	II	Малая	От 5,1 до 12	Средняя
От 1001 до 4000	III	Средняя	От 12,1 до 24	Высокая
От 4001 до 10 000	IV	Высокая	От 24,1 до 50	Очень высокая
Более 10 000	V	Чрезвычайная	Более 50	Экстремальная

тивными, поскольку плотность распределения их значений имеет сильную асимметрию и критические значения индексов встречаются редко.

К усредненным значениям применение такого подхода некорректно, поэтому в климатических исследованиях целесообразно использовать следующие характеристики: 1) максимальное значение индекса за год (или за сезон, за месяц); 2) число дней в году (за сезон или за месяц) с индексом больше критического значения. Например, можно в качестве критического значения для КППО принять 4000 (IV класс ПО по условиям погоды) или 10 000 (V класс ПО). По такому же принципу можно произвести отбор значений ИЛПО в соответствии с критериями ПО для этого индекса. Сформированные таким образом ряды данных отражают динамику индексов ПО относительно установленных уровней на всем временном интервале или общее число дней в году (за сезон или за месяц) со значениями больше критического.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По аналогии с работой [23] нами была рассчитана эмпирическая связь между температурой воздуха и температурой точки росы на основе данных с 12 метеостанций Южного Урала. При этом каких-либо закономерностей в эмпирической связи между температурой воздуха и температурой точки росы, обусловленных географическими особенностями территории, не выявлено. Ранее было установлено [24], что при ежедневной оценке ПО на территориях со сложной орографией и неравномерностью в распределении наблюдательной сети главную сложность представлял вопрос пространственной интерполяции. В результате анализа, проведенного по данным наблюдений на отдельных метеостанциях Южного Урала [25–30], для обоих индексов выявлена общая тенденция к увеличению числа дней с максимальными значениями индексов ПО выше критических, а также определены максимальные значения КППО и ИЛПО за 1995–2000 гг. При этом по сравнению с остальными месяцами наибольший рост выявлен в июле с 2000 по 2005 г., а также установлены факты уменьшения максимальных значений индексов ПО и количества дней со значениями индексов выше критических.

На рис. 2, а–г приведены результаты вычислений индексов ПО для метеостанции Зилаир. Следует отметить, что при установленных общих тенденциях к увеличению числа дней с максимальными значениями индексов ПО выше критических, ИЛПО по сравнению с КППО более достоверно учитывает степень ПО. Так, временная динамика максимальных значений индекса ИЛПО и число дней с максимальными значениями выше критических при сопоставлении с фактическими данными по лесным пожарам максимально коррелированы по сравнению со значениями КППО.

В табл. 2 приведены результаты корреляционного анализа связи числа дней со значениями индексов ПО выше критических (для КППО  $\geq 1000$ , ИЛПО  $\geq 24$ ) с фактическими данными о лесных пожарах (число лесных пожаров и лесная площадь, пройденная пожарами) за последние два десятилетия. Фактические данные по лесным пожарам взяты из Единой межведомственной информационно-статистической системы и находятся в свободном доступе (<https://www.fedstat.ru>). Значения коэффициентов корреляции для ИЛПО по сравнению с КППО оказались выше в весенне-летне-осенний период, как и в отдельные месяцы периода.

Аналогичные вычисления были проведены отдельно для территории Башкирии и Оренбургской области. Установлено совпадение общих тенденций и несовпадение по отдельным годам. Несовпадения могут быть обусловлены тем, что потенциальная опасность возгорания леса, возникающая при определенных метеорологических и экологических условиях, не всегда приводит к возникновению пожара, поскольку необходим источник огня. Также следует отметить, что официальные статистичес-

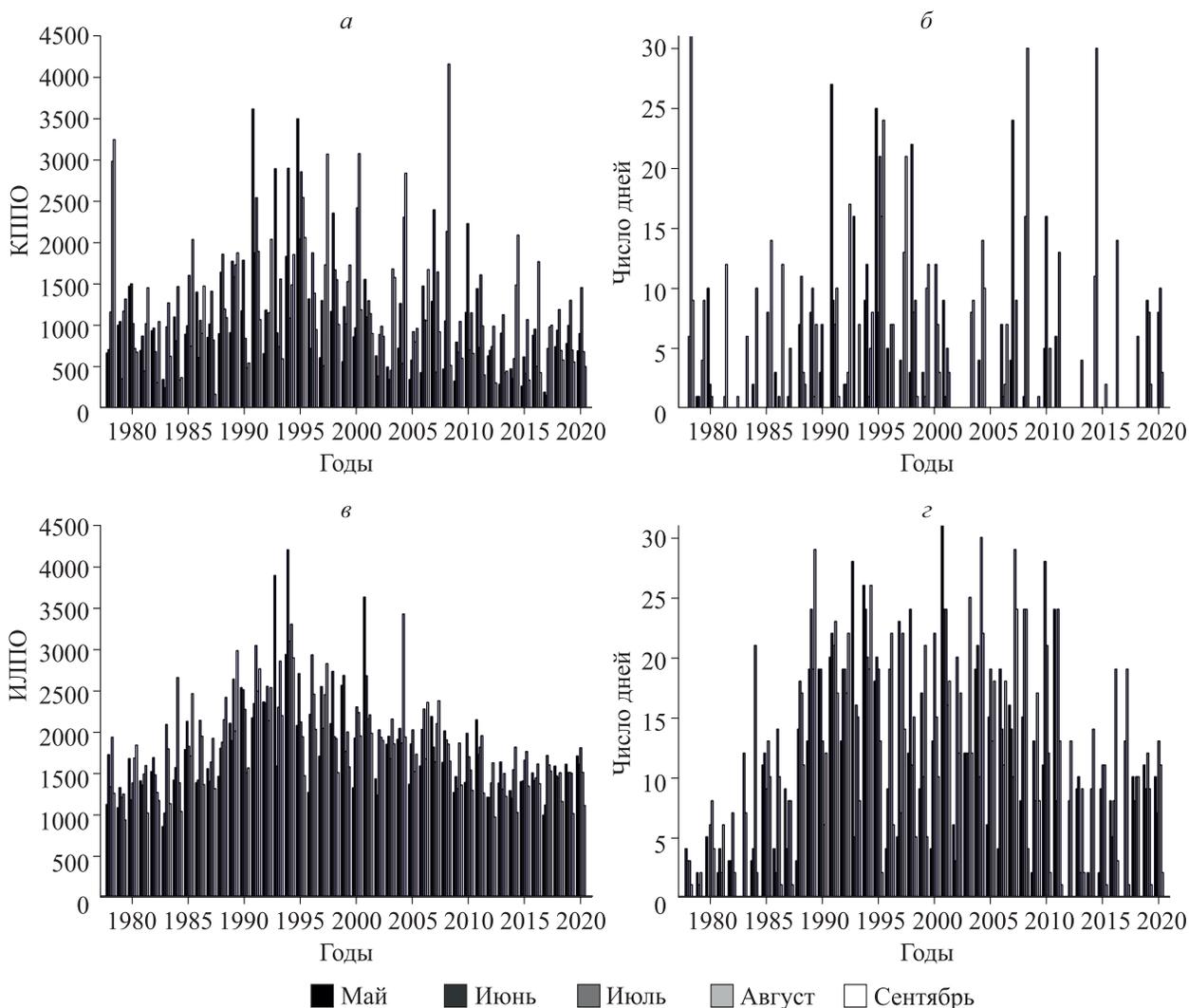


Рис. 2. Динамика максимальных значений индексов пожарной опасности в весенне-летне-осенний период по данным наблюдений метеостанции Зилаир за 1978–2020 гг.

а — КППО; б — дни с КППО  $\geq 1000$ ; в — ИЛПО и число дней с максимальным значением индексов пожарной опасности больше критического для месяцев с мая по сентябрь за 1978–2020 гг.; г — дни с ИЛПО  $\geq 24$ .

Таблица 2

Значения коэффициентов корреляции числа суток за год со значениями индексов пожарной опасности, превышающих критические, с фактическими данными о лесных пожарах (1992–2020 гг.) для территории Южного Урала

Индекс	Месяцы					
	V	VI	VII	VIII	IX	V–IX
Число лесных пожаров						
КППО	0,13	0,28	0,10	0,14	–0,05	0,20
ИЛПО	0,23	0,32	0,20	0,19	<b>0,46</b>	0,21
Лесная площадь, пройденная пожарами						
КППО	0,19	0,33	0,15	0,19	0,11	0,25
ИЛПО	0,35	<b>0,52</b>	0,37	0,26	<b>0,55</b>	<b>0,47</b>

Примечание. Жирным шрифтом выделены статистически значимые значения коэффициента корреляции, при  $n = 21, p = 0,05$ .

кие данные по лесным пожарам для Башкирии и Оренбургской области сильно различаются: в Башкирии фиксируется меньшее число лесных пожаров и их последствий.

Необходимо отметить, что лесные пожары могут возникать при определенных метеорологических и экологических условиях, таких как экстремально высокие температуры в приземных слоях атмосферы (выше среднегодовой нормы), низкие значения относительной влажности воздуха, недостаточное увлажнение территории на протяжении длительного времени, наличие сухой прошлогодней травы, подсохших мхов и лишайников [6]. Для оценки частоты возникновения таких метеорологических условий в теплый период года (май–сентябрь) сопоставлены максимальные значения КППО и ИЛПО (см. рис. 2, а, в) с числом суток в году со значениями индексов ПО выше критических за 1978–2020 гг. (см. рис. 2, б, г). Выбор периода с мая по сентябрь обусловлен физико-географическими условиями степной и лесостепной зон Южного Урала и их связи с частотой возгораний/пожаров, максимум которых приходится именно на это время года.

Выявлено совпадение экстремальных значений индексов ПО с наиболее засушливыми периодами: июнь 1995 г., июнь–август 2010 г., июнь–июль 2020 г. Сопоставление данных о днях с низкими и экстремально высокими значениями индексов ПО со снимками со спутника Terra-MODIS [31] для исследуемой территории показало в определенные дни совпадение экстремально высоких значений индексов ПО с датами действия пожаров. На рис. 3 приведены спутниковые снимки одной и той же территории в разное время: 15 июля 2020 г. — день с экстремально высоким индексом ПО (см. рис. 3, а), на спутниковом снимке видно несколько очагов природных пожаров; 31 августа 2016 г. — день с низким значением индекса ПО (см. рис. 3, б), когда пожаров не было. Большинство индексов ПО не могут учитывать антропогенных факторов. При этом следует отметить, что пожары (в том числе и природные/лесные), как правило, обусловлены антропогенной деятельностью [32]: возгорание по вине человека является основным фактором общего пожарного риска, а метеорологические и экологические условия могут только способствовать им и/или усугублять пожарную обстановку. Неадекватные действия людей, посещающих лес с хозяйственной или рекреационной целями, и сопутствующие метеорологические и экологические условия заметно влияют на распространение пожаров [33, 34].

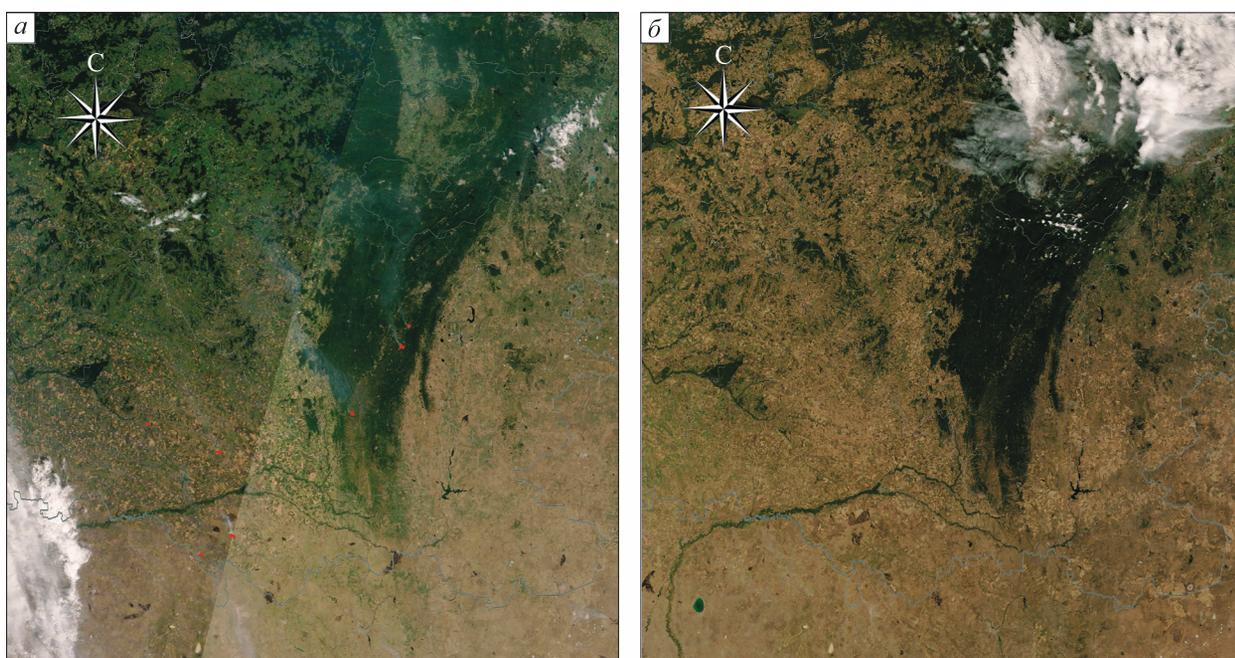


Рис. 3. Снимки территории Южного Урала с максимальным разрешением 250 м со спутника Terra-MODIS за 15 июля 2020 г. (а) и 31 августа 2016 г. (б), показывающие очаги пожаров (отмечены красными пикселями) и их дымовые шлейфы (<https://terra.nasa.gov/areas/modis>).

Серыми линиями обозначены границы государств и регионов (субъектов Российской Федерации и Республики Казахстан).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пространственно-временной анализ КППО и ИЛПО позволил произвести оценку пожарной опасности территории Южного Урала за 1978–2020 гг. Выявлена связь между экстремальными значениями индексов ПО и аномально жаркими годами. Установлена общая тенденция изменений для большинства метеорологических станций по максимальным значениям КППО и ИЛПО. Полученные в результате вычислений значения КППО и ИЛПО могут быть использованы в метеопрогнозах для оценки и прогнозирования пожарной обстановки по условиям погоды. Индексы КППО и ИЛПО по-разному отражают совокупность метеорологических условий, способствующих возникновению пожаров. Индекс ИЛПО, например, помимо метеорологических, учитывает и экологические факторы. Применимость индексов пожарной опасности, как и разработка рекомендаций по сохранению и использованию лесных ресурсов, должна оцениваться с учетом физико-географических и экологических особенностей территории [35].

*Вычисление индексов пожарной опасности по данным приземной метеорологии выполнено в рамках темы госзадания (АААА–А21–121011190016–1), обработка данных дистанционного зондирования проводилась в рамках темы госзадания (0148–2019–0009).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мохов И.И., Семенов В.А.** Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. — 2016. — № 2. — С. 16–28.
2. **Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Семёнов С.М., Тащилин С.А., Флитман Е.В., Щетинский В.Е.** Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исследование Земли из космоса. — 1998. — № 3. — С. 89–95.
3. **Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е.А.** Состояние и перспективы развития Российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2006. — Т. 1. — С. 341–350.
4. **Лупян Е.А., Мазуров А.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Королёва Н.В., Абушенко Н.А., Тащилин С.А., Сухинин А.И., Афонин С.В., Белов В.В., Гришин А.М., Соловьёв В.С.** Спутниковый мониторинг лесов России // Оптика атмосферы и океана. — 2007. — Т. 20, № 5. — С. 443–447.
5. **Shukhin A.I., French N.H.F., Kasischke E.S., Hewson J.H., Soja A.J., Csiszar I.A., Hyer E.J., Loboda T., Conrad S.G., Romasko V.I., Pavlichenko E.A., Miskiv S.I., Slinkina O.A.** AVHRR-based mapping of fires in Russia: New products for fire management and carbon cycle studies // Remote Sensing Environmental. — 2004. — N 93. — P. 546–564.
6. **Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.** Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
7. **Подольская А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П.** Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — Т. 8, № 1. — С. 118–126.
8. **Барановский Н.В., Гришин А.М., Лоскутникова Т.П.** Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров // Вычислительные технологии. — 2003. — Т. 8, № 2. — С. 16–26.
9. **Гришин А.М., Зеленский Е.Е., Вылегжанин Д.Г.** Влияние радиационного теплообмена на тепловую устойчивость распространения фронта верхового лесного пожара // Физика горения и взрыва. — 2001. — Т. 37, № 6. — С. 30–35.
10. **Гришин А.М., Шипулина О.В.** Математическое моделирование распространения вершинных лесных пожаров в однородных лесных массивах и вдоль просек // Физика горения и взрыва. — 2002. — Т. 38, № 6. — С. 17–29.
11. **Перминов В.А.** Математическое моделирование возникновения и распространения верховых лесных пожаров в осредненной постановке // Журн. техн. физики. — 2015. — Т. 85, вып. 2. — С. 24–30.
12. **Гришин А.М., Голованов А.Н., Суков Я.В.** Физическое моделирование огненных смерчей // Докл. АН. — 2004. — Т. 395, № 2. — С. 196–198.
13. **Гришин А.М., Рейно В.В., Сазанович В.М., Цвык Р.Ш., Шерстобитов М.В.** Экспериментальные исследования огненных смерчей // Оптика атмосферы и океана. — 2008. — Т. 21, № 2. — С. 158–163.
14. **Молчанов А.А.** Лес и окружающая среда. — М.: Наука, 1968. — 247 с.
15. **Бондур В.Г., Мохов И.И., Воронова О.С., Ситнов С.А.** Космический мониторинг сибирских пожаров и их последствий: особенности аномалий 2019 г. и тенденции 20-летних изменений // Докл. РАН. Науки о Земле. — 2020. — Т. 492, № 1. — С. 99–106.

16. Бондур В.Г., Цидилина М.Н., Кладов В.Л., Гордо К.А. Аномальная изменчивость пространственно-временных распределений природных пожаров и эмиссий вредных примесей в Европе по данным космического мониторинга // Докл. РАН. — 2019. — Т. 485, № 6. — С. 745–749.
17. Воронова О.С., Зима А.Л., Кладов В.Л., Черепанова Е.В. Аномальные пожары на территории Сибири летом 2019 г. // Исследование Земли из космоса. — 2020. — № 1. — С. 70–82.
18. Pinto G.A.S.J., Rousseu F., Niklasson M., Drobyshev I. Effects of human-related and biotic landscape features on the occurrence and size of modern forest fires in Sweden // Agricultural and Forest Meteorology. — 2020. — Vol. 291 [Электронный ресурс]. — DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.108084 (дата обращения 20.02.2021).
19. Софронов М.А., Софронова Т.М., Волокитина А.В. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов // Лесн. хоз-во. — 2004. — № 6. — С. 31–32.
20. Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 2. — С. 74–80.
21. Гришин А.М. Физика лесных пожаров. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. — 218 с.
22. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Труды Гидрометцентра России. — 2012. — Вып. 347. — С. 207–222.
23. Васильев Д.Ю., Водопьянов В.В., Зайцева Г.С., Закирзянов Ш.И., Семёнов В.А., Сивохиц Ж.Т., Чибилев А.А. Модель долгосрочного прогноза весеннего стока на примере реки Белая // Докл. АН. — 2019. — Т. 486, № 6. — С. 723–726.
24. Васильев Д.Ю., Бабков О.К., Давлиев И.Р., Семёнов В.А., Христодуло О.И. Пространственно-временная структура колебаний приземной температуры на Южном Урале // Оптика атмосферы и океана. — 2018. — Т. 31, № 4. — С. 294–302.
25. Васильев Д.Ю., Великанов Н.В., Водопьянов В.В., Красногорская Н.Н., Семёнов В.А., Христодуло О.И. Связь аномалий яркостной температуры нижней тропосферы с климатическими индексами на примере Южного Урала // Исследование Земли из космоса. — 2019. — № 2. — С. 14–28.
26. Васильев Д.Ю., Ферапонтов Ю.И. Тренды в колебаниях приземной температуры воздуха на примере Башкирии // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2015. — № 1. — С. 77–86.
27. Васильев Д.Ю., Бабков О.К., Кочеткова Е.С., Семёнов В.А. Вейвлет и кросс-вейвлет анализ сумм атмосферных осадков и приповерхностной температуры на европейской территории России // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2017. — № 6. — С. 63–77.
28. Васильев Д.Ю., Водопьянов В.В., Семёнов В.А., Чибилёв А.А. Оценка тенденций изменения засушливости для территории Южного Урала в период 1960–2019 гг. с использованием различных методов // Докл. РАН. Науки о Земле. — 2020. — Т. 494, № 1. — С. 91–96.
29. Васильев Д.Ю., Лукманов Р.Л., Ферапонтов Ю.И., Чувывров А.Н. Цикличность гидрометеорологических характеристик на примере Башкирии // Докл. РАН. — 2012. — Т. 447, № 3. — С. 331–334.
30. Васильев Д.Ю., Павлейчик В.М., Семёнов В.А., Сивохиц Ж.Т., Чибилёв А.А. Многолетний режим температуры воздуха и атмосферных осадков на территории Южного Урала // Докл. РАН. — 2018. — Т. 478, № 5. — С. 588–592.
31. Justice C.O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J.T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. The MODIS fire products // Remote Sensing of Environment. — 2002. — Vol. 83. — P. 244–262.
32. Balch J.K., Bradley B.A., Abatzoglou J.T., Nagy R.C., Fusco E.J., Mahood A.L. Human-started wildfires expand the fire niche across the United States // PNAS. — 2020. — Vol. 114, N 11. — P. 2946–2951.
33. Parisien M.-A., Miller C., Parks S.A., Robinne F.-N., Flannigan M.D. The spatially varying influence of humans on fire probability in North America // Environmental Research Letters. — 2016. — Vol. 11, N 7. — P. 075005.
34. Bowman D.M.J.S., Balch J.K., Artaxo P., Bond W.J., Carlson M.A., Cochran M.A., D'Antonio C.M., DeFries R.S., Doyle J.C., Harrison S.P., Johnson F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.A., Kull C.A., Marston J.B., Moritz M.A., Prentice I.C., Roos C.I., Scott A.C., Swetnam T.W., Werf G.R. van der, Pyne S.J. Fire in the Earth systems // Science. — 2009. — Vol. 324. — P. 481–484.
35. Stephens S.L., Agee J.K., Fule P.Z., North M.P., Romme W.H., Swetnam T.W., Turner M.G. Managing forest and fire in changing climates // Science. — 2013. — Vol. 342. — P. 41–42.

*Поступила в редакцию 15.11.2020*

*После доработки 29.03.2021*

*Принята к публикации 29.12.2021*