

ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ

Б.Г. Шерстюков, А.Б. Шерстюков***

Россия, 249035 г.Обнинск Калужской обл. ул. Королева, 6, Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, *boris@meteo.ru, **artem@meteo.ru.

Реферат. Получены количественные соотношения между изменениями климата и характеристиками лесных пожаров на территории России. Приведены возможные варианты изменения в XXI веке характеристик лесных пожаров при будущих климатах, соответствующих двум сценариям антропогенного воздействия на климатическую систему Земли – RCP4.5 и RCP8.5.

Ключевые слова. Сценарии, изменения климата, лесные пожары, взаимосвязь.

FOREST FIRES IN RUSSIA UNDER CLIMATE WARMING IN XXI CENTURY

B.G. Sherstyukov, A.B. Sherstiukov***

RIHMI-WDC, 6, Korolev's st., 249035 Obninsk, Kaluga Reg., Russia, *boris@meteo.ru, **artem@meteo.ru

Abstract. Quantitative relationships of climate change and characteristics of forest fires in Russia are obtained. Possible patterns of changes in the forest fire characteristics under future climates corresponding to two scenarios of anthropogenic impact on the Earth's climate system (RCP4.5 and RCP8.5) are presented.

Key words. Scenarios, climate change, forest fires, relationship.

Введение

Прогнозы изменений климата на основе физико-математического моделирования показывают доминирующую роль антропогенных парниковых газов в современном потеплении глобального климата. На основе прогностических оценок по этим моделям ожидается, что потепление климата будет продолжаться в

обозримом будущем. Наряду с повышением температуры будут наблюдаться изменения всех других параметров климатической системы, которые могут отразиться на метеорологических условиях горимости леса. И, хотя, вопрос о причинах современного потепления климата остается дискуссионным, а модели еще находятся в стадии развития, их прогностические результаты используются, так как других способов прогноза изменений климата до конца XXI века пока не создано. Противоречия разных научных подходов возникают, в основном, в части количественных оценок вклада различных антропогенных и природных факторов в современные и будущие изменения климата. Последствия изменений климата затрагивают многие стороны жизни человека, но и в части количественных оценок этих последствий остается много не ясного в количественных соотношениях. В настоящей работе главное внимание уделено получению соотношений между изменениями климата и лесными пожарами, а также рассматриваются возможные варианты изменения характеристик лесных пожаров при различных возможных сценариях изменений климата.

Физико-математические модели климата постоянно совершенствуются, в настоящее время проходят испытания моделей пятого поколения и составляется прогноз изменения климата для нескольких возможных сценариев изменения количества антропогенного углекислого газа и других парниковых газов.

В Главной Геофизической Обсерватории проведены исследования качества моделей пятого поколения, разработанных в различных климатических центрах мира, отобраны лучшие (по мнению авторов из ГГО) из них и получен обобщенный мультимодельный прогноз изменений климата для двух сценариев накопления антропогенных парниковых газов в атмосфере. В предположении того, что модельные прогнозы отражают общую тенденцию будущих изменений метеорологических характеристик климатической системы, в настоящей работе выполнены оценки изменения среднего числа дней с пожароопасными для леса метеорологическими условиями в различных регионах России по трем временным интервалам: 2011-2030, 2041-2060 и 2080-2099 годы. Получены также предварительные результаты по

количественным оценкам увеличения площадей выгоревшего леса к концу текущего столетия, если потепление климата будет следовать одному из рассмотренных сценариев.

Методы и материалы

Для возникновения лесного пожара необходимым условием является длительная жаркая и сухая погода. Эти условия характеризуются комплексом метеорологических характеристик: температура воздуха, продолжительность периода без выпадения дождя, влажность воздуха, а также характеристиками горимости лесной подстилки, которые тоже в значительной мере зависят от метеорологических условий. Метеорологическая опасность возгорания леса ежедневно определяется по индексу В.Г. Нестерова и подразделяется по классам горимости леса. Значение индекса Нестерова более 1000 (средняя горимость) является критерием, при котором обычно возникают лесные пожары, при наличии других необходимых условий для возгорания (наличие горючего лесного материала и источника огня). Лесную пожароопасность всего теплого сезона года удобно оценивать числом дней в году с индексом Нестерова более 1000.

При отсутствии ежедневных метеорологических данных и невозможности вычисления индекса Нестерова на каждый день года, в работе (Шерстюков, 2013) предложено использовать регрессионные соотношения между среднемесячными значениями температуры воздуха, месячными суммами атмосферных осадков и числом пожароопасных для леса дней в месяце. Пожароопасными считались дни с индексом Нестерова более 1000.

В работе (Шерстюков, 2013) проводились исследования вклада трех метеорологических характеристик в изменения числа пожароопасных дней за сезон. Показано, что изменения месячных значений температуры воздуха количества атмосферных осадков и относительной влажности дают совместный вклад 55-69% в общую дисперсию числа пожароопасных дней за весь сезон (май-август) на большей части территории России. При этом в некоторых южных районах России и на Приленском плато совместный вклад всех трех метеорологических характеристик в общую дисперсию превышает 70%.

Но мультимодельные прогнозы, подготовленные в ГГО, содержат только данные о среднемесячной температуре и средней суточной сумме атмосферных осадков. Данных о влажности воздуха нет. В работе (Шерстюков 2013) показано, что по таким сведениям тоже можно оценивать прогностическое значение числа пожароопасных дней за сезон. В тех случаях, когда для оценок горимости леса используется уравнение регрессии по данным только температуры воздуха и количества атмосферных осадков (без данных об относительной влажности), суммарный вклад указанных метеорологических элементов в общую дисперсию числа пожароопасных дней составляет 40-55% почти во всей лесной зоне России.

В настоящей работе в качестве исходных данных использовались мультимодельные сведения о будущем климате России, которые подготовлены в ГГО (приземная температура воздуха и атмосферные осадки), для трех двадцатилетних интервалов 21-го века: 2011 – 2030 гг., 2041 – 2060 гг. и 2080 – 2099 гг. Эти сведения о будущем климате получены в ГГО осреднением результатов расчетов по 31 модели общей циркуляции атмосферы, которые участвуют в проекте сравнения глобальных климатических моделей CMIP5 и используют современные сценарии антропогенного воздействия на климатическую систему Земли семейства RCP: «мягкий» сценарий RCP4.5 и «жесткий» RCP8.5.

Прогностические среднемоделные данные получены из ГГО в узлах сетки $1^\circ \times 1^\circ$ – среднемесячные значения температуры и среднесуточное количество атмосферных осадков за месяц. Эти абсолютные значения температуры и осадков получены добавлением изменений соответствующих характеристик в ансамбле моделей к реальным средним значениям указанных характеристик за базовый период 1981-2000 гг. Среднесуточные значения количества осадков переводились далее в количество осадков за месяц, путем умножения среднесуточных значений осадков на число дней в месяце.

Сведения о реальных лесных пожарах взяты из справочника (Думнов и др., 2005).

По ежедневным данным о температуре воздуха, температуре точки росы и количеству атмосферных осадков за 1966-2009 гг. по станциям России (1572 станции) вычислены значения индекса Нестерова G в соответствии с ГОСТом (Методические указания,

1975; ГОСТ Р22.1.09-99) на каждый день пожароопасного сезона и подсчитано число дней в каждом месяце с индексом $G > 1000$. Эти сведения далее использовались в качестве эталонных при исследовании методов косвенного получения числа пожароопасных дней в месяце по месячным метеорологическим данным. Выполнено исследование возможности вычисления по уравнению линейной регрессии значений числа дней N_f с индексом $G > 1000$ в зависимости от среднемесячной температуры (t) и месячной суммы осадков (R):

$$N_f = b_t t + b_R R + a \quad (1)$$

Уравнения регрессии для каждой метеорологической станции строились по метеорологическим данным за 1966-2011 гг. Коэффициенты уравнения регрессии для мая вычислялись по многолетним рядам майских значений температуры и осадков, аналогично коэффициенты для июня вычислялись по рядам июньских метеорологических данных и т.д. (отдельно по каждому месяцу пожароопасного сезона с мая по сентябрь, включительно). Накопленные коэффициенты далее использовались для прогностических целей лесопожарных характеристик на основе модельных прогностических значений изменения температуры воздуха и атмосферных осадков до конца XXI века по данным ГГО.

На каждой станции прогностические значения числа пожароопасных дней вычислялись по уравнению (1) для каждого месяца отдельно. Число пожароопасных дней за год складывалось из месячных прогностических значений пожароопасных дней за весь пожароопасный сезон. В уравнения подставлялись прогностические мультимодельные значения температуры (t) и количества осадков (R) ближайшего к станции узла географической сетки с шагом $1^\circ \times 1^\circ$.

Для пространственных сравнений результатов на карты выводились значения отклонений прогностического числа пожароопасных дней (D) на станции от среднего числа пожароопасных дней на этой станции за базовый период 1981-2000гг. (N):

$$D = N_f - N,$$

где N_f – прогностическое значение числа пожароопасных дней на заданный временной интервал.

Построены карты изменения прогностического числа пожароопасных дней для трех двадцатилетних интервалов 21-го века: 2011 – 2030 гг., 2041 – 2060 гг. и 2080 – 2099 гг. отдельно по двум сценариям возможного антропогенного воздействия на климатическую систему.

Вычислены значения относительных изменений числа пожароопасных дней на заданный временной интервал относительно базового периода 1981-2000 гг.:

$$D = 100(N_f - N)/N (\%),$$

Результаты

По жесткому сценарию RCP8.5 в 2011-2030 гг. заметные изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$, по сравнению с нормой за 1981-2000 гг., произойдут почти на всей Европейской территории России, в Западной Сибири и на юге Восточной Сибири (увеличение на величину до 9 дней). В некоторых районах на юге и западе Европейской территории России, а также на юге Сибири, число пожароопасных дней ожидается на 10-19 дней больше за пожароопасный сезон (рис. 1).

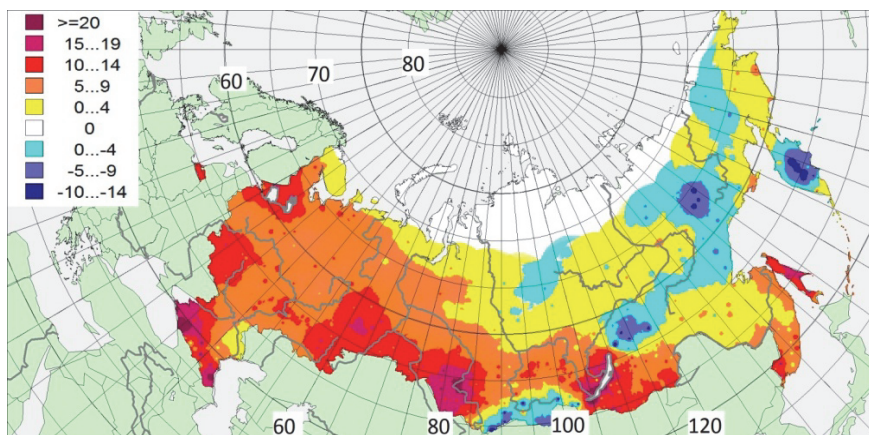


Рис. 1. Прогноз на 2011-2030 гг. изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$, по сравнению с нормой за 1981-2000 гг. Мультимодельный прогноз климата, сценарий RCP8.5. Сезон май – сентябрь.

По мягкому сценарию прогностическая карта оказалась практически идентичной. Это означает, что в первом временном интервале различия в прогнозах изменения климата не проявляются.

По сценарию RCP8.5 к 2028-2047 гг. и к 2041-2060 гг. по сценарию RCP4.5 ожидается потепление глобальной температуры на 2°C. Потепление на 2°C считается пороговым для изменения климата, после достижения которого возврат к прежнему состоянию планетарной системы окажется невозможным. При повышении температуры более, чем на 2°C, общество потеряет контроль над ситуацией по изменению климата.

В 2028-2047 гг. (рис. 2) по сценарию RCP8.5 и по мягкому сценарию RCP4.5 увеличится число пожароопасных дней на 10-14 дней и более в тех же регионах, в которых в предыдущие годы увеличение прогнозировалось на 5-9 дней.

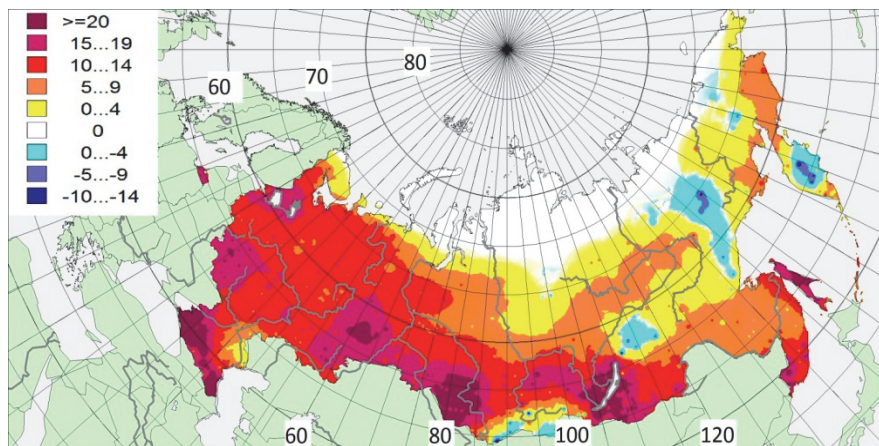


Рис. 2. Прогноз изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$ на период потепления среднеглобальной температуры воздуха на 2°C по сценарию RCP8.5 (2028-2047 гг.). Отклонения от нормы за 1981-2000 гг. Сезон май – сентябрь.

В 2041-2060 гг. почти на всей Европейской территории России и на юге Сибири ожидается увеличение числа пожароопасных дней на 10-14 и 15-19 дней (рис.3). В прогнозах по мягкому сценарию области с градацией увеличения числа пожароопасных дней на 15-19 дней занимают меньшие площади на карте.

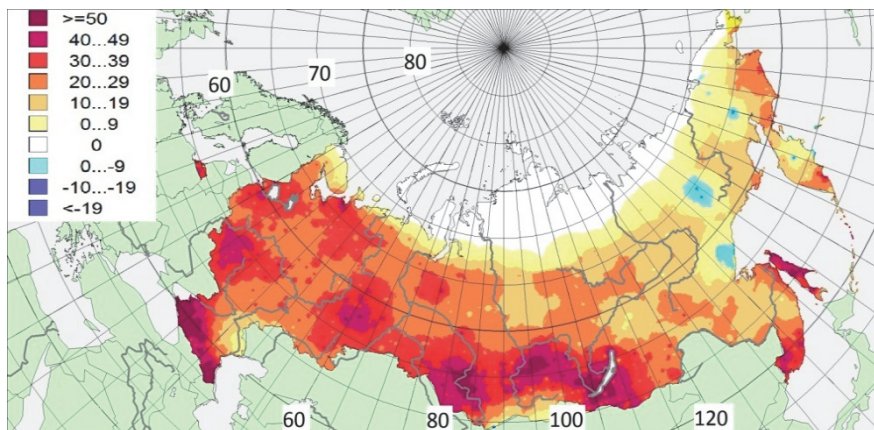


Рис. 3. Прогноз на 2041-2060 гг. изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$, по сравнению с нормой за 1981-2000 г. Мультимодельный прогноз климата, сценарий RCP8.5. Сезон май – сентябрь.

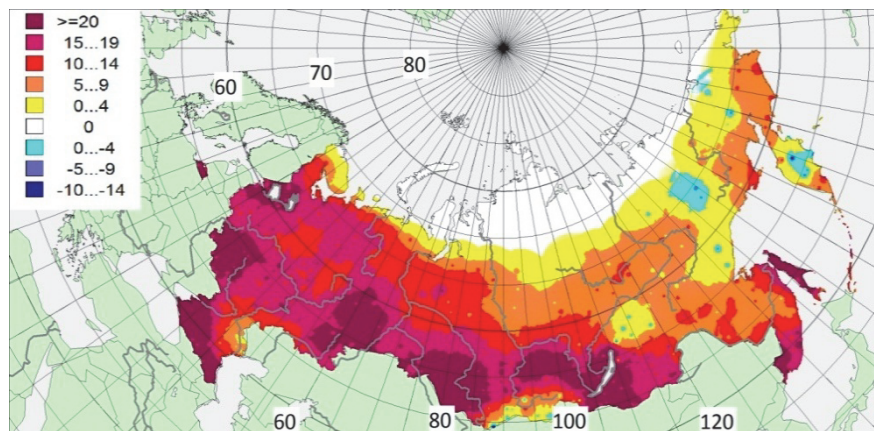


Рис. 4. Прогноз на 2080-2099 гг. изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$, по сравнению с нормой за 1981-2000 г. Мультимодельный прогноз климата, сценарий RCP8.5. Сезон май – сентябрь.

В конце века по прогнозам ожидается увеличение числа пожароопасных дней на 20-29 дней и более на всей Европейской

территории России, Западной Сибири, а также в средних широтах Восточной Сибири (рис. 4). На 30-50 дней число пожароопасных дней увеличится к концу века на юге и на западе ЕТР, а также на широтах 52-57° с.ш. в Западной и Восточной Сибири (рис. 4).

По мягкому сценарию к концу века число пожароопасных дней увеличится не так сильно (рис. 5), как при возможном жестком сценарии антропогенного воздействия на климат.

Увеличение составит 10-19 дней, в некоторых местах – более 20 дней.

На всех временных интервалах и при любом сценарии просматривается общая тенденция усиления в XXI веке роли метеорологических факторов, способствующих возникновению лесных пожаров почти во всех районах лесной зоны России.

По двум сценариям изменения климата показано, что различия между прогнозами пожарной опасности на первую половину XXI века не велики. В конце XXI века при мягком и жестком сценариях различия прогнозов изменения климата создают заметные различия в прогнозах опасности лесных пожаров.

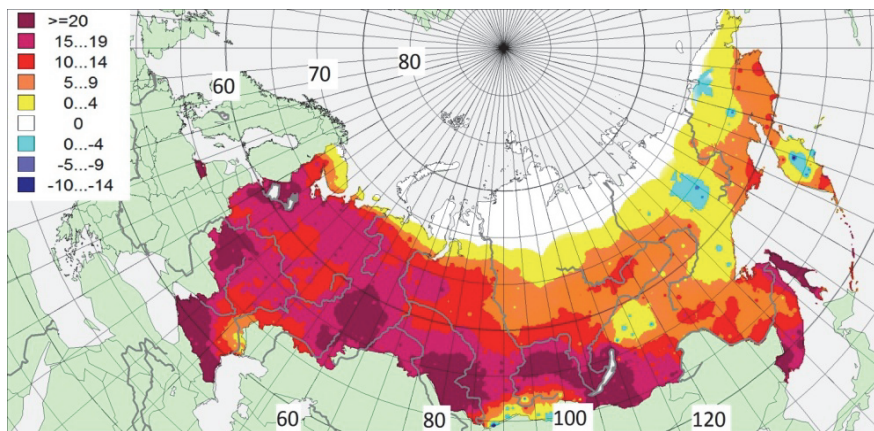


Рис. 5. Прогноз на 2080-2099 гг. изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$, по сравнению с нормой за 1981-2000 гг. Мультимодельный прогноз климата, сценарий RCP4.5. Сезон май – сентябрь.

В южных широтах России всегда норма числа пожароопасных дней больше, чем в других регионах, поэтому дополнительно была

построена прогностическая карта относительных изменений числа пожароопасных дней за сезон в % от аналогичных значений в базовом периоде 1981-2000 гг. На рис. 6 показана прогностическая карта относительного изменения числа пожароопасных дней по сценарию RCP8.5 на период 2080-2099 гг.

На преобладающей части России относительное число пожароопасных дней по прогнозу увеличится на 20-40%. В северной половине Европейской территории России, в Западной Сибири, на юге Восточной Сибири и на Дальнем Востоке относительное число пожароопасных дней по прогнозу увеличится еще больше – на 40-50%.

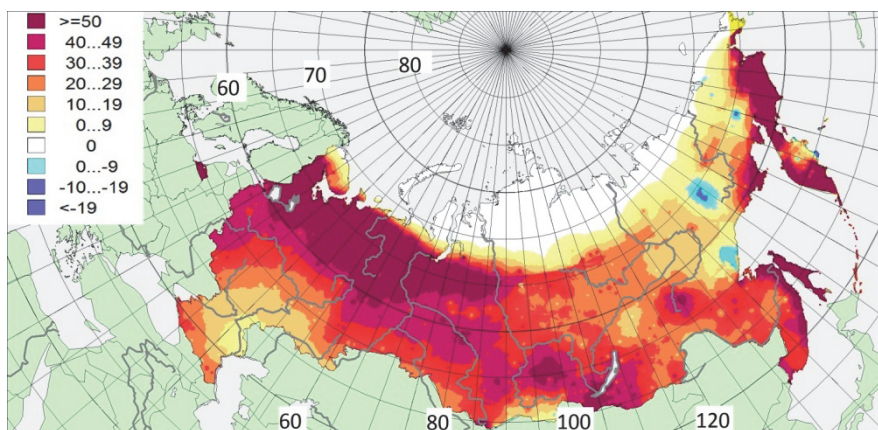


Рис. 6. Прогноз на 2080-2099 гг. относительного (в %) изменения числа дней с индексом Нестерова $G > 1000$, по сравнению с нормой за 1981-2000 гг.

Мультимодельный прогноз климата, сценарий RCP8.5. Сезон май – сентябрь.

Ранее уже рассматривались соотношения между числом пожароопасных дней разного класса горимости и реальными лесными пожарами (Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б., 2007), но тесной линейной зависимости обнаружено не было. Дополнительные исследования нелинейных связей привели к выводу о том, что зависимость общей площади выгоревшего леса от числа пожароопасных дней за теплый сезон лучше описывается уравнением четвертой степени. Это позволило предложить индекс площади лесных пожаров SQ в зависимости от лесной площади, пройденной пожарами:

$$SQ = \sqrt[4]{S}$$

Такой индекс имеет хорошую линейную корреляцию с числом пожароопасных дней N за теплый сезон.

При подсчете числа пожароопасных дней за сезон использовался критерий $G > 1000$ по модифицированному индексу Нестерова (Шерстюков, 2012). Число пожароопасных дней за весь пожароопасный сезон, например, в Москве может являться характеристикой потенциальной опасности лесных пожаров во всем Центральном Федеральном Округе (ЦФО). По данным (Думнов и др, 2005) о площади выгоревших лесов за 1986-2004 годы вычислены годовичные значения индекса площади лесных пожаров в ЦФО. На рис. 7 показано изменение число пожароопасных дней N при $G > 1000$ за теплый сезон в Москве и индекс площади лесных пожаров SQ . Коэффициент линейной корреляции между ними $r = 0,81$ свидетельствует о большой тесноте связей.

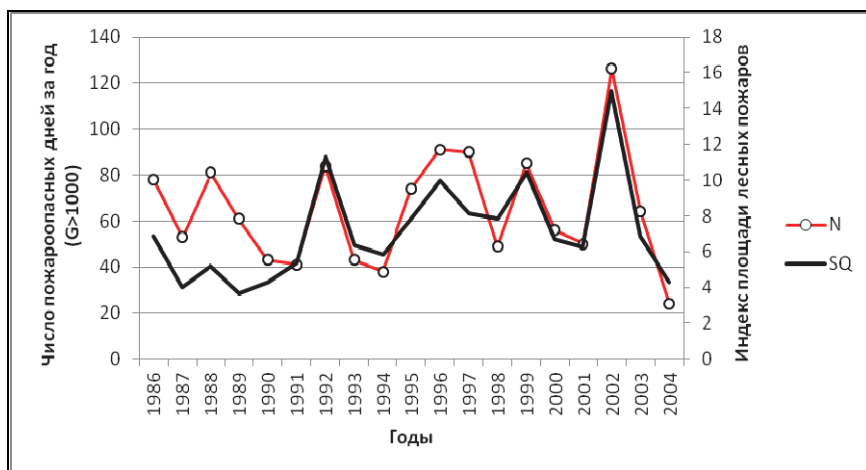


Рис. 7. Число пожароопасных дней N за теплый сезон в Москве и корень четвертой степени из лесной площади (SQ), пройденной пожарами в ЦФО.

Поле рассеяния такой зависимости можно оценить по рис. 8. Линейная зависимость описывает около 65% общей изменчивости.

Получено уравнение регрессии индекса площади SQ от числа опасных дней N :

$$SQ = 0,6349 N + 15,3636 \quad (2)$$

Тогда оценкой площади выгоревшего леса будет:

$$S = (SQ)^4 \quad [\text{Га}] \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) позволяют количественно оценивать площади возможного выгорания леса по данным метеорологических наблюдений.

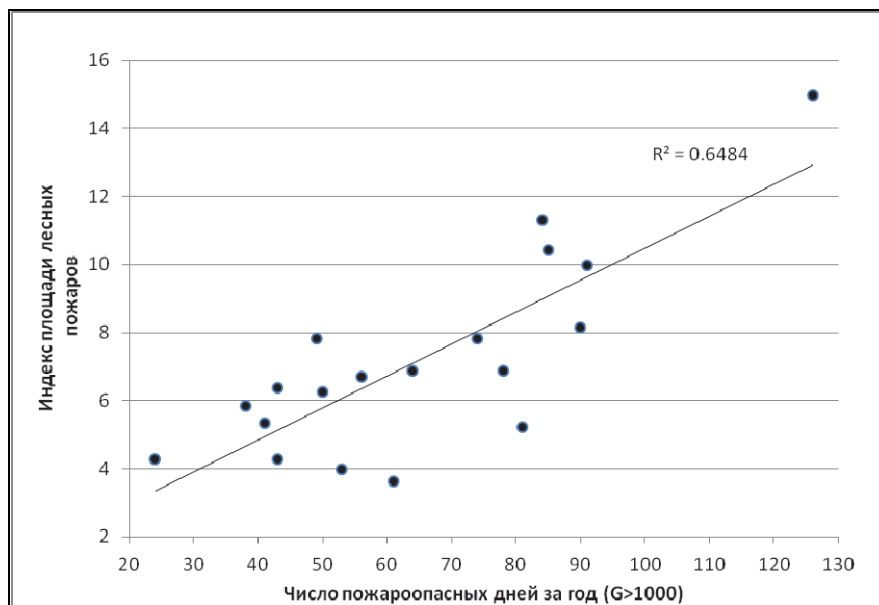


Рис. 8. Зависимость индекса лесной площади, пройденной пожарами, от числа пожароопасных дней по индексу В.Г. Нестерова

Четвертая степень в формуле (3) имеет логическое объяснение. При постоянной скорости горения леса и равномерного продвижения фронта лесного пожара во все стороны, выгоревшая площадь была бы в квадратичной зависимости от пути, пройденного огнем от центра до фронта. Но при лесном пожаре возникает интенсивное тепловыделение, количество тепла которого возрастает с увеличением площади поверхности охваченной огнем. Выделяющееся при лесном пожаре тепло приводит к новым возгораниям леса на значительных расстояниях, за счет излучения

тепла. Чем мощнее пожар и выше температура горения, тем больше передается тепла этим способом. Процесс горения разгоняется положительной обратной связью, которая увеличивает до четвертой степени зависимость площади выгорания от продолжительности периода с пожароопасными погодными условиями (3).

Аналогичный механизм формирования скорости горения леса и увеличения площади лесных пожаров должен работать и в других районах России, при наличии там необходимых условий для горения. Это дает возможность прогнозировать площади лесных пожаров на последующие годы в связи с ожидаемыми изменениями климата и числом прогнозируемых пожароопасных дней в году.

Как было показано выше, по модельным прогнозам в связи с ожидаемыми изменениями температуры и количества осадков к концу XXI века число пожароопасных дней во многих регионах России возрастет на 20-40% и более. Если число пожароопасных дней увеличатся на 40%, то в Центральном регионе период пожароопасных дней увеличится до 77 дней, при норме 55 дней за 1981-2000гг.

В уравнение регрессии (2) подставляем значение $N = 77$ и вычисляем прогностическое значение индекса SQ площади лесных пожаров к концу XXI века. В ЦФО ожидается значение индекса площади $SQ = 9,69472$. По уравнению (3) вычисляем лесную площадь пожаров в Центральном регионе к концу текущего века. По расчетам площадь пожаров составит около 8834 Га при современной норме 3970,1 га, т.е. к концу XXI века площадь пожаров по прогнозу возрастет примерно в 2 раза.

Заключение

Можно предположить, что подобные соотношения отражают основные физические особенности метеорологической обусловленности возникновения и распространения огня в лесу при прочих равных условиях. Если предположение не сильно отличается от реальности, то и в других регионах России на основе индекса Нестерова и эмпирических соотношений можно прогнозировать площади лесных пожаров в зависимости от метеорологических условий. Абсолютные значения площадей не столь важны, главный вывод заключается в том, что если считать достоверными модельные прогнозы температуры воздуха и количества атмосферных осадков до конца текущего столетия, то нас ожидает непропорциональный

рост количества лесных пожаров, размеров площадей выгоревшего леса, а также негативные экономические и экологические последствия.

Если появятся новые прогностические оценки изменения климата на текущее столетие, то прогнозы ожидаемых площадей лесных пожаров необходимо будет пересчитать.

Благодарность

Авторы благодарны директору Главной Геофизической Обсерватории д.ф.-м.н. В.М.Катцову и его коллегам за предоставленные цифровые материалы по мультимодельным прогнозным оценкам изменений температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XXI веке, на основе которых стали возможны исследования ожидаемых последствий этих изменений в части лесных пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. ГОСТ Р 22.1.09-99. ОКС 13.020, ОКСТУ 002. Дата введения 01.01.2000. 13 С.
2. Думнов А.Д., Максимов Ю.И., Рощупкина Ю.В., Аксенова О.А. 2005. Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник). Под редакцией А.Д. Думнова и Н.Г. Рыбальского. –М.: НИИ-Природа. 229 С.
3. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. 1975. –М.: Гидрометеониздат. 15 С.
4. Шерстюков Б.Г. 2012. Лесные пожары, как метеообусловленное явление. Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып.176. С. 326-357.
5. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. 2007. Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках. Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 173. С. 137-151.
6. Шерстюков Б.Г. 2013. Оценки потенциальной горимости леса по месячным метеорологическим данным. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 25. –М.: ИГКЭ. (В печати).