

УДК 551.583:551.509.68:551.581.1

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПОЖАРООПАСНОСТИ ПРИ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА

© 2006 г. Член-корреспондент РАН И. И. Мохов, А. В. Чернокульский, И. М. Школьник

Поступило 15.08.2006 г.

Одним из наиболее опасных региональных последствий общего потепления климата являются пожары, в частности лесные и торфяные пожары [1]. С пожарами связаны региональные биосферные изменения, изменения альbedo подстилающей поверхности, эвапотранспирации и радиационного баланса, углеродного обмена между атмосферой и наземными экосистемами. Пожары влияют, в частности, на сток углерода за счет лесов [2]. В данной работе впервые оценены режимы пожароопасности для российских регионов при возможных изменениях климата в XXI в. на основе численных расчетов с региональной моделью климата.

Климатические изменения в последние десятилетия проявляются в сильных температурных, циркуляционных и гидрологических аномалиях, приводящих в том числе к пожарам, как, например, в России в 2002 г. и в Западной Европе в 2003 г. Проявление в средних широтах подобных длительных аномалий с засушливыми условиями в летние сезоны связано с блокирующими антициклонами в тропосфере (блокингами). Согласно модельным оценкам при глобальном потеплении вследствие увеличения содержания парниковых газов в атмосфере заметно увеличивается роль континентальных блокингов, в частности в весенне-летние месяцы [3]. Формированию режимов засух и пожаров способствует то, что в теплые месяцы года, в частности в среднеширотных регионах Северной Евразии, с ростом температуры общее количество осадков в целом уменьшается (см., например, [4, 5, 15]).

Для анализа использованы результаты численных расчетов на основе региональной климатической модели ГГО с горизонтальным разрешением 50 км при сценарии SRES-B2 [6] увеличения эмиссии парниковых газов в XXI в. [7, 8]. Описание региональной модели дано в [7], чис-

ленных экспериментов – в [8]. Детальный анализ ежедневных данных по расчетам с региональной моделью проведен для европейской территории России (ЕТР) для трех десятилетий: в конце XX в. (1991–2000 гг.), в середине (2041–2050 гг.) и конце (2091–2100 гг.) XXI в.

Есть различные характеристики пожароопасности (см., например, [9]). В данной работе в качестве характеристики пожароопасности использовался индекс Нестерова, предложенный для оценки условий горимости лесов [10], и его модификации [11, 12]. Потенциал пожароопасности  $I_F$  определяли по метеорологическим данным согласно

$$I_F = \Sigma(T_M - T_d)T_M, \quad (1)$$

где  $T_M$  – максимальная температура в °С,  $T_d$  – температура точки росы (зависящая от относительной влажности и температуры) в °С, суммирование проводится для тех дней, когда количество осадков  $P$  за сутки не превышает 3 мм. При  $P > 3$  мм величина  $I_F$  зануляется. Принято разбивать значения потенциала пожароопасности на 5 диапазонов. Условия с  $I_F < 300$  (режим I) считаются непожароопасными, а в диапазонах 300–1000, 1000–4000, 4000–10000 и больше 10000 – соответственно режимы с малым (II), умеренным (III), высоким (IV) и экстремальным (V) уровнем пожароопасности [11, 12].

При анализе также использовались данные [13] о распространении в Северной Евразии для территории России различных видов растительности, в том числе лесов.

На рис. 1 представлено распределение значений среднего летнего индекса пожароопасности  $I_{Fm}$  для периода 1991–2000 гг. ( $I_{Fm}(0)$ ). Более южные широты в целом характеризуются экстремальными значениями индекса  $I_{Fm}(0)$ . Заметные меридиональные особенности проявляются в области Уральских гор. Выделены границы областей с наличием лесов по данным [13]. Можно отметить, что согласно рис. 1 южная граница областей с наличием лесов в средних широтах ЕТР по данным [13] находится в режиме III с умеренными значениями потенциала пожароопасности. В средних и высоких широтах ЕТР, а также в западной

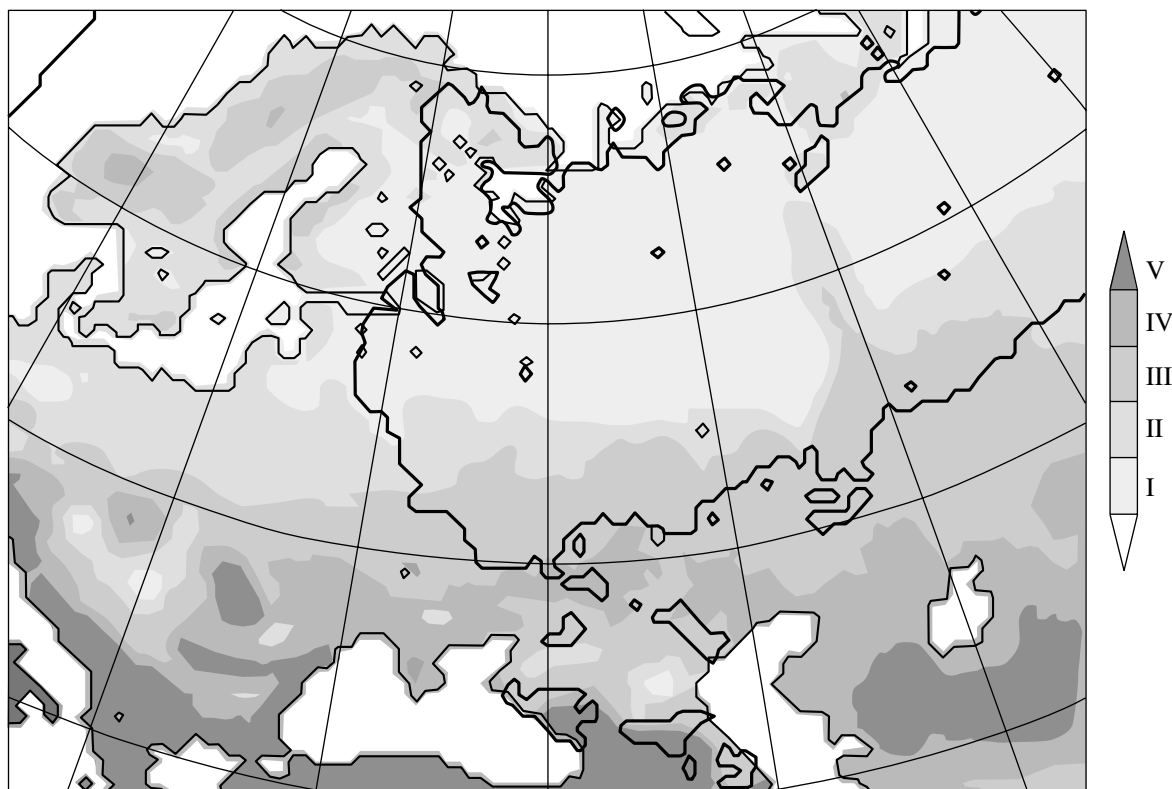


Рис. 1. Распределение значений среднего летнего индекса пожароопасности  $I_{Fm}$  для конца XX в. ( $I_{Fm}(0)$ ).

части азиатской территории России леса существуют главным образом в условиях слабой пожароопасности (режим II). Только для относительно небольшой территории с лесами климатические условия соответствуют нижнему диапазону режима III.

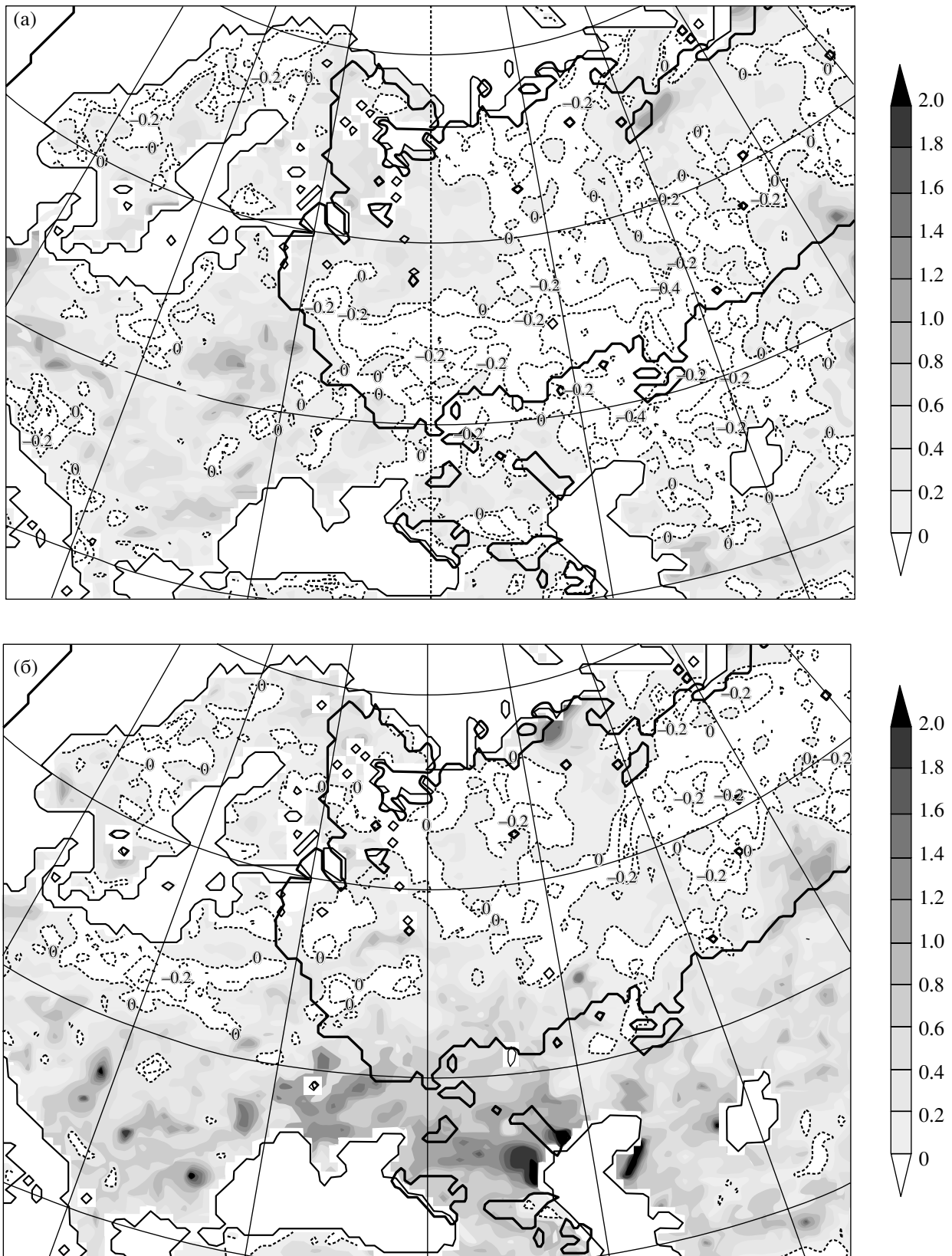
Наряду с пространственным распределением средних локальных значений летнего индекса пожароопасности для периода 1991–2000 гг. анализировались также особенности локальных функций распределения вероятности  $I_F$  по ежедневным данным. В частности, проведен анализ повторяемости  $p$  летних дней для 1991–2000 гг. с локальным индексом пожароопасности  $I_F$ , превышающим его среднее летнее значение  $I_{Fm}$  не менее чем в два ( $p(I_F > 2I_{Fm})$ ) и четыре ( $p(I_F > 4I_{Fm})$ ) раза соответственно. Пространственное распределение  $p(I_F > 2I_{Fm})$  получено сравнительно однородным – в большинстве регионов значения этой вероятности были в диапазоне  $\frac{1}{8} - \frac{1}{6}$ . В отдельных регионах величина

$p(I_F > 2I_{Fm})$  достигала  $\frac{1}{5}$ , как, например, в южной части бассейнов Волги и Урала. Локальные значения  $p(I_F > 4I_{Fm})$  повторяемости летних дней с более сильным, четырехкратным, превышением  $I_{Fm}$  не превосходили 0.08 и на значительной территории

были около 0.05. При этом проявился эффект уменьшения повторяемости таких экстремальных значений к северу и к югу от средних широт. Подобный эффект не отмечен для  $p(I_F > 2I_{Fm})$ .

Анализ возможных изменений пожароопасности в XXI в. относительно XX в. по расчетам с использованием региональной модели при антропогенном сценарии SRES-B2 выявил значительную пространственную неоднородность. На рис. 2 приведены изменения нормированного (на  $I_{Fm}(0)$ ) среднего летнего индекса пожароопасности  $\Delta I_{Fm}$  относительно конца XX в. (1991–2000 гг.): а) – к середине XXI в. (2041–2050 гг.), б) – к концу XXI в. (2091–2100 гг.).

Согласно рис. 2а для изменений к середине XXI в. (относительно последнего десятилетия XX в.) летней пожароопасности наряду с увеличением индекса  $I_{Fm}$  в южных широтах, в частности в бассейне Волги вблизи Каспия и прикавказских регионах, а также на северо-западе России, можно ожидать уменьшения  $I_{Fm}$  на значительной части ЕТР. Последнее можно объяснить увеличением в модели количества осадков в средних и высоких широтах при относительно небольшом летнем потеплении в случае сравнительно неагрессивного антропогенного сценария SRES-B2. На юге России по модельным оценкам ожидается уменьшение летних осадков, что в сочетании с ростом тем-



**Рис. 2.** Изменения нормированного (на  $I_{Fm}(0)$ ) среднего летнего индекса пожароопасности  $I_{Fm}$  относительно конца XX в.: к середине (а) и к концу (б) XXI в.

пературы способствует увеличению вероятности засух и пожаров.

Изменения летней пожароопасности к концу XXI в. на рис. 2б существенно отличаются от соответствующих изменений к середине XXI в. на рис. 2а. В большей степени проявляются межширотные различия. При этом относительно конца XX в. заметно увеличивается индекс  $I_{Fm}$  в южных и средних широтах. В более высоких широтах регионы с ростом пожароопасности чередуются с регионами с уменьшением  $I_{Fm}$ . Заметно увеличивается индекс пожароопасности в бассейне Волги. В то же время значения  $I_{Fm}$  на северо-западе России к концу XXI в. в целом уменьшаются по сравнению с серединой XXI в.

Как отмечено в [8], по расчетам с региональной моделью с использованием сценария SRES-B2 к концу XXI в. относительно конца XX в. в южных регионах России увеличивается изменчивость летней среднесуточной температуры у поверхности главным образом из-за увеличения повторяемости экстремально высоких значений температуры. При этом изменчивость среднесуточных осадков в южных российских регионах в целом уменьшается, тогда как в северных и центральных регионах европейской территории России изменчивость осадков увеличивается (с ростом повторяемости как слабых, так и экстремально сильных осадков).

Проведен также анализ возможных изменений в XXI в. повторяемости  $p(I_F > kI_{Fm})$  летних дней с индексом пожароопасности, превышающим среднее летнее значение  $I_{Fm}$  в  $k$  раз, в частности не менее чем в два ( $k = 2$ ) или в четыре ( $k = 4$ ) раза. Как и для индекса  $I_{Fm}$  на рис. 2, пространственная структура изменений повторяемости аномальных режимов к середине и к концу XXI в. существенно различается. Так, к середине XXI в. повторяемость  $p(I_F > 2I_{Fm})$  не растет, а уменьшается на значительной части европейской территории России, в том числе для бассейнов Урала и Волги. При этом она заметно увеличивается на северо-западе страны. К концу XXI в. в большей степени проявляются межширотные различия с существенным увеличением повторяемости  $p(I_F > 2I_{Fm})$  в южных регионах.

В целом полученные результаты свидетельствуют о различающихся для разных регионов тенденциях изменения пожароопасности при общем потеплении в XXI в. Кроме того проявляются нелинейные эффекты, и региональные тенденции различаются для разных временных интервалов. Отмеченные пространственные и временные различия связаны с зависимостью риска пожароопасности от разных климатических характеристик — температуры и осадков, а также относительной влажности. При этом тенденции изменения режима летних осадков различаются по знаку в более

северных и более южных широтах (см. также [14, 15, 8]). Температурные тенденции различаются в разных регионах не столь кардинально. Региональные температурные тренды различаются только по величине, но не по знаку — для XXI в. в целом они положительные. Сочетание отмеченных тенденций характеристик температурного и гидрологического режимов приводит к наиболее четко выраженному росту риска пожароопасности в более южных широтах к концу XXI в.

Сделанные оценки основаны на модельных расчетах при сравнительно “неагрессивном” антропогенном сценарии SRES-B2 для XXI в. В случае антропогенных сценариев с более сильным ростом содержания в атмосфере парниковых газов, в частности при сценарии SRES-A2, следует ожидать и более существенных последствий.

В данном анализе для оценки потенциальной пожароопасности использованы только характеристики метеорологического режима. Согласно полученным результатам большой риск пожароопасности при современном климате характерен для южных регионов с отсутствием лесов. Это и не удивительно — в южных регионах с высоким уровнем пожароопасности при современных климатических условиях вероятность сохранения лесов мала.

Анализ условий, необходимых для формирования пожаров, должен дополняться соответствующим анализом достаточных условий. Для более детального анализа, в том числе для сибирских регионов, необходимо учитывать различные режимы подстилающей поверхности и растительности и их изменения при климатических изменениях.

Данная работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 05–05–64907, 06–05–64969-а), Минобрнауки и программы РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stocks B.J., Fosberg M.A., Lynham T.J. et al. // *Clim. Change*. 1998. V. 38. P. 1–13.
2. Исаев А.С., Коровин Г.Н. В кн.: *Круговорот углерода на территории России*. М., 1999. С. 63–95.
3. Мохов И.И. // *ДАН*. 2006. Т. 409. № 3. С. 403–406.
4. Mokhov I.I., Dufresne J.-L., Khon V.Ch. et al. // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*. 2002. Rept № 32. WMO/TD-№ 1105. P. 07.31–07.32.
5. Мохов И.И., Дюфрен Ж.-Л., Ле Трет Э. и др. // *ДАН*. 2005. Т. 405. № 6. С. 810–814.
6. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change / J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. Eds. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001. 881 p.
7. Школьник И.М., Мелешко В.П., Гаврилина В.М. // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 1. С. 14–27.

8. Школьник И.М., Мелешко В.П., Катцов В.М. // Метеорология и гидрология. 2006. № 3. С. 5–16.
9. Shvidenko A.Z., Nilsson S. In: Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest. N. Y.: Springer, 2000. P. 132–150.
10. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумага, 1949.
11. Kirilenko A.P. Simulation of Long-Term Dynamics of Forest Wildfires in Russia with Markovian Model // European Forest Inst. 2002. Intern. Rept. № 10. 27 p.
12. Venevsky S., Thonicke K., Sitch S., Cramer W. // Global Change Biol. 2002. V. 8. P. 984–998.
13. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии. М.: Наука, 1993.
14. Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч. // Изв. АН. ФАО. 2003. Т. 39. № 2. С. 150–165.
15. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А. и др. // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 38–49.