

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON RUSSIAN AGRICULTURE

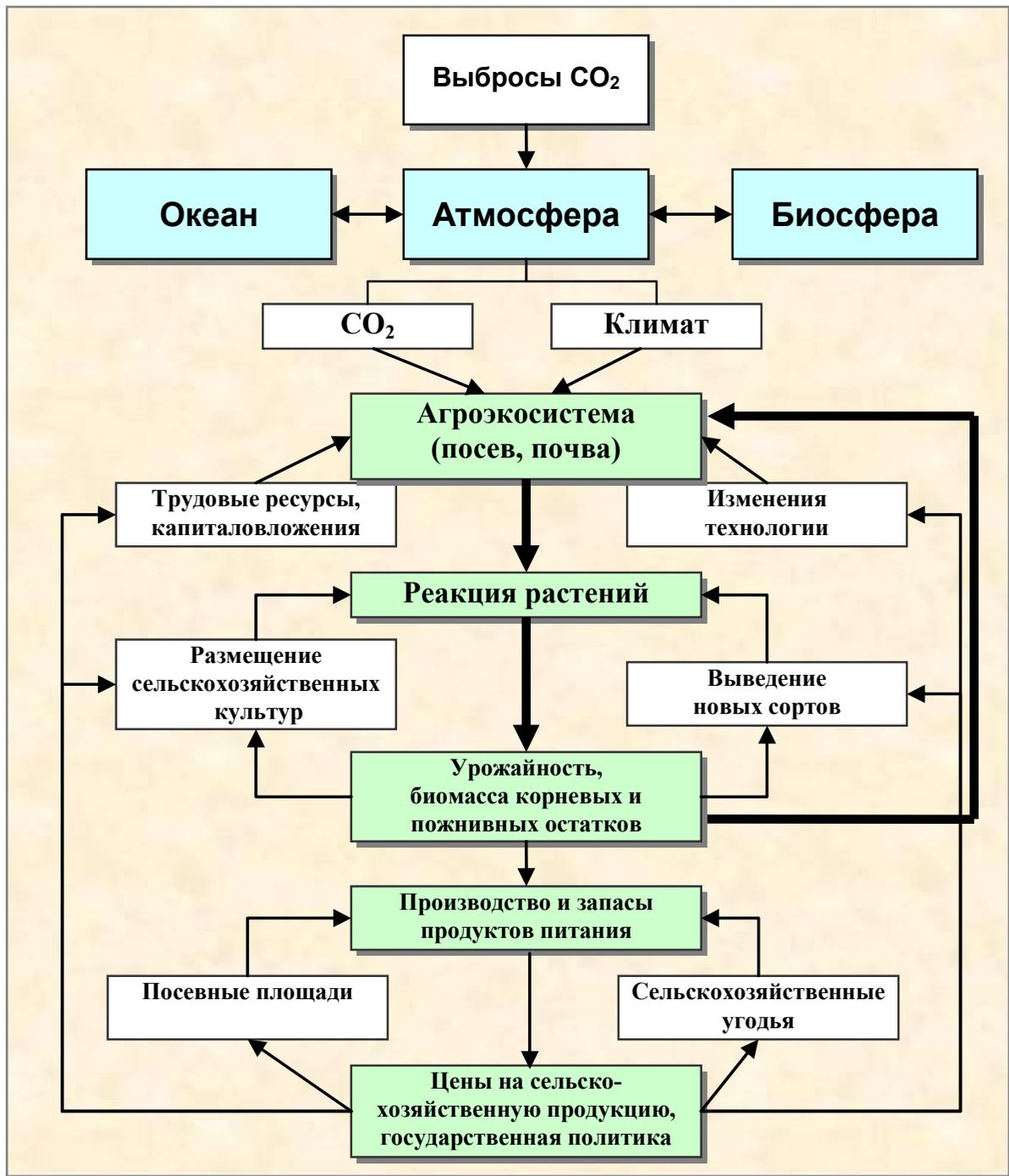
Sirotenko O.D.

Russian Research Institute of Agricultural Meteorology

Russian climate is the most harsh for agriculture. Bioclimatic potential (BCP) of Russian territories is 20-30 % lower than that of the EU countries, but exceeds it by 2 or 3 times in unrealized BCP. According to Climatic doctrine anticipatory adaptation for global climate change is one of Russia's priority policies. To research the coevolution of climate and agrosphere we have devised an imitational model which includes:

- models of agroecosystems productivity;
- models of water-heat regime and moisture of agrosphere;
- models of carbon cycle for arable soils;
- models of climate risks for agriculture;
- models of optimizing crops allocation.

On this basis we realized a system of continuous monitoring of agroclimatic indicators, carbon balance components and crops productivity, which operates with a month step in 20th and 21st centuries (up to 2011 in retrospective, then up to 2100 in prognostic regime).



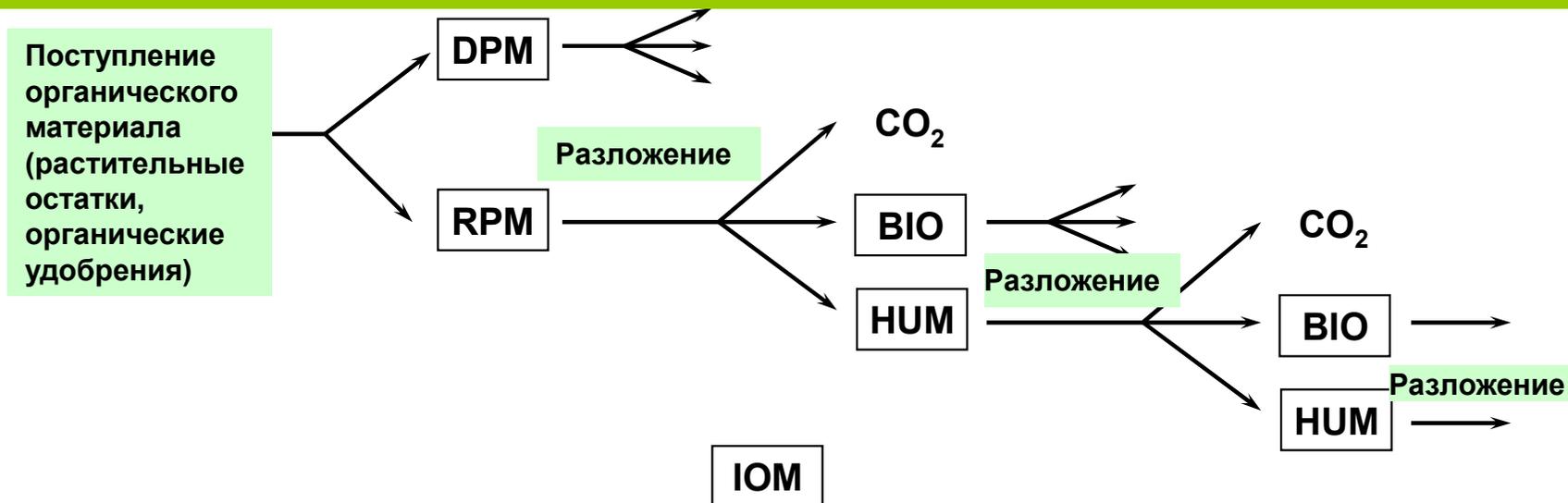
Важнейшие прямые и обратные связи, определяющие коэволюцию климата, почв, агросферы и изменения продуктивности сельского хозяйства

Оценки коэффициентов корреляции между фактическими и рассчитанными значениями запасов продуктивной влаги в пахотном (0-20 см) и метровом (0-100 см) слоях почвы за 1951-1977 гг. (численная схема непрерывного мониторинга влагозапасов почвы)

| Область | Пахотный слой | | | | | | Метровый слой | | | |
|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | I * | | II | | | | II | | | |
| | VI | X | V | VI | IX | X | V | VI | IX | X |
| Белгородская | 0,840 | 0,893 | 0,860 | 0,809 | 0,628 | 0,701 | 0,737 | 0,820 | 0,604 | 0,640 |
| Брянская | 0,759 | 0,744 | 0,655 | 0,727 | 0,720 | 0,668 | 0,520 | 0,653 | 0,720 | 0,650 |
| Владимирская | 0,834 | 0,795 | 0,681 | 0,833 | 0,891 | 0,778 | 0,489 | 0,546 | 0,736 | 0,630 |
| Волгоградская | 0,775 | 0,854 | 0,807 | 0,692 | 0,697 | 0,837 | 0,612 | 0,593 | 0,528 | 0,633 |
| Воронежская | 0,792 | 0,869 | 0,824 | 0,790 | 0,656 | 0,756 | 0,822 | 0,798 | 0,506 | 0,663 |
| Нижегородская | 0,882 | 0,818 | 0,916 | 0,859 | 0,886 | 0,810 | 0,795 | 0,798 | 0,787 | 0,738 |
| Ивановская | 0,805 | 0,893 | 0,773 | 0,775 | 0,828 | 0,835 | 0,704 | 0,631 | 0,744 | 0,811 |
| Калужская | 0,836 | 0,900 | 0,615 | 0,786 | 0,851 | 0,841 | 0,615 | 0,639 | 0,814 | 0,737 |
| Костромская | 0,816 | 0,848 | 0,673 | 0,782 | 0,842 | 0,699 | 0,624 | 0,741 | 0,812 | 0,709 |
| Краснод, край | 0,881 | 0,779 | 0,750 | 0,862 | 0,599 | 0,680 | 0,708 | 0,796 | 0,540 | 0,689 |
| Самарская | 0,790 | 0,879 | 0,715 | 0,789 | 0,856 | 0,879 | 0,715 | 0,703 | 0,745 | 0,761 |
| Курская | 0,899 | 0,915 | 0,819 | 0,903 | 0,758 | 0,842 | 0,714 | 0,875 | 0,643 | 0,794 |
| Липецкая | 0,654 | 0,784 | 0,659 | 0,559 | 0,393 | 0,623 | 0,686 | 0,522 | 0,213 | 0,610 |
| Московская | 0,769 | 0,908 | 0,687 | 0,764 | 0,847 | 0,892 | 0,680 | 0,713 | 0,846 | 0,789 |
| Орловская | 0,863 | 0,846 | 0,728 | 0,799 | 0,785 | 0,844 | 0,437 | 0,657 | 0,755 | 0,787 |
| Пензенская | 0,798 | 0,797 | 0,867 | 0,793 | 0,798 | 0,776 | 0,819 | 0,683 | 0,536 | 0,684 |
| Ростовская | 0,866 | 0,879 | 0,855 | 0,863 | 0,747 | 0,830 | 0,713 | 0,782 | 0,527 | 0,545 |
| Рязанская | 0,900 | 0,906 | 0,583 | 0,892 | 0,863 | 0,907 | 0,592 | 0,853 | 0,833 | 0,855 |
| Саратовская | 0,780 | 0,875 | 0,845 | 0,778 | 0,781 | 0,866 | 0,677 | 0,714 | 0,585 | 0,588 |
| Ставроп, край | 0,841 | 0,704 | 0,798 | 0,838 | 0,625 | 0,678 | 0,628 | 0,706 | 0,424 | 0,646 |
| Тамбовская | 0,812 | 0,769 | 0,828 | 0,812 | 0,772 | 0,727 | 0,746 | 0,824 | 0,733 | 0,563 |
| Татарстан | 0,874 | 0,779 | 0,650 | 0,860 | 0,864 | 0,779 | 0,582 | 0,676 | 0,777 | 0,738 |
| Ульяновская | 0,670 | 0,818 | 0,733 | 0,599 | 0,781 | 0,773 | 0,514 | 0,568 | 0,683 | 0,689 |
| Чувашия | 0,733 | 0,810 | 0,812 | 0,689 | 0,751 | 0,749 | 0,565 | 0,235 | 0,468 | 0,589 |
| Ярославская | 0,890 | 0,637 | 0,398 | 0,828 | 0,729 | 0,634 | 0,456 | 0,804 | 0,847 | 0,756 |
| Среднее | 0,814 | 0,828 | 0,741 | 0,787 | 0,758 | 0,776 | 0,646 | 0,693 | 0,656 | 0,692 |

* С учетом наблюдаемых влагозапасов почвы за прошлый месяц

Структура Ротамстедской_углеродной динамической модели Roth C



Углерод почвы в модели представлен 4 активными пулами: быстро разлагающимися растительными остатками (DPM), устойчивым растительным материалом (RPM), микробной биомассой (BIO) и гумифицированным органическим веществом (HUM), а также пулом устойчивого к минерализации инертного органического вещества (IOM)

Оценки регрессионных моделей для прогнозирования урожайности, 1967-2009 гг.

| Области | Озимая пшеница | | | | Озимая рожь | | | |
|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | май | | июнь | | май | | июнь | |
| | R | S | R | S | R | S | R | S |
| Белгородская | 0,692 | 5,292 | 0,747 | 4,944 | 0,751 | 3,352 | 0,803 | 3,072 |
| Брянская | 0,687 | 3,613 | 0,701 | 3,596 | 0,600 | 2,994 | 0,648 | 2,893 |
| Владимирская | 0,739 | 3,442 | 0,740 | 3,486 | 0,566 | 2,583 | 0,584 | 2,580 |
| Волгоградская | 0,721 | 4,795 | 0,793 | 4,275 | 0,747 | 3,557 | 0,878 | 2,602 |
| Воронежская | 0,712 | 4,948 | 0,733 | 4,867 | 0,679 | 3,646 | 0,745 | 3,365 |
| Нижегородская | 0,790 | 3,846 | 0,796 | 3,853 | 0,676 | 2,672 | 0,676 | 2,711 |
| Ивановская | 0,677 | 3,042 | 0,698 | 3,002 | 0,753 | 2,797 | 0,757 | 2,819 |
| Калужская | 0,730 | 3,172 | 0,754 | 3,095 | 0,790 | 2,542 | 0,839 | 2,293 |
| Костромская | 0,434 | 3,370 | 0,448 | 3,393 | 0,590 | 2,171 | 0,594 | 2,194 |
| Краснодакрай | 0,808 | 5,052 | 0,832 | 4,819 | 0,716 | 4,259 | 0,742 | 4,151 |
| Самарская | 0,653 | 4,857 | 0,753 | 4,281 | 0,724 | 3,503 | 0,807 | 3,045 |
| Курская | 0,711 | 4,045 | 0,730 | 3,990 | 0,739 | 3,015 | 0,744 | 3,034 |
| Липецкая | 0,736 | 5,853 | 0,740 | 5,899 | 0,752 | 4,046 | 0,792 | 3,799 |
| Марий Эл | 0,672 | 4,069 | 0,708 | 3,939 | 0,680 | 2,841 | 0,698 | 2,817 |
| Мордовия | 0,816 | 4,206 | 0,824 | 4,181 | 0,778 | 3,009 | 0,788 | 2,996 |
| Московская | 0,694 | 4,059 | 0,720 | 3,973 | 0,767 | 3,702 | 0,778 | 3,679 |
| Оренбургская | 0,617 | 4,737 | 0,693 | 4,406 | 0,642 | 4,272 | 0,739 | 3,811 |
| Орловская | 0,840 | 3,947 | 0,849 | 3,896 | 0,804 | 3,492 | 0,840 | 3,236 |
| Пензенская | 0,524 | 4,694 | 0,524 | 4,761 | 0,523 | 3,027 | 0,524 | 3,069 |
| Ростовская | 0,706 | 4,843 | 0,794 | 4,220 | 0,739 | 3,192 | 0,845 | 2,571 |
| Рязанская | 0,772 | 4,411 | 0,793 | 4,287 | 0,677 | 3,127 | 0,724 | 2,973 |
| Саратовская | 0,630 | 4,877 | 0,719 | 4,433 | 0,652 | 3,587 | 0,756 | 3,143 |
| Ставропокрай | 0,891 | 3,802 | 0,911 | 3,517 | 0,887 | 3,217 | 0,901 | 3,061 |
| Тамбовская | 0,665 | 4,678 | 0,690 | 4,600 | 0,560 | 4,000 | 0,630 | 3,806 |
| Татарстан | 0,883 | 4,089 | 0,926 | 3,344 | 0,910 | 3,740 | 0,936 | 3,234 |
| Тульская | 0,740 | 4,273 | 0,747 | 4,290 | 0,685 | 3,925 | 0,730 | 3,737 |
| Удмуртия | 0,661 | 4,137 | 0,745 | 3,732 | 0,554 | 2,410 | 0,591 | 2,370 |
| Ульяновская | 0,676 | 4,576 | 0,741 | 4,230 | 0,710 | 3,346 | 0,729 | 3,300 |
| Чувашия | 0,715 | 3,981 | 0,729 | 3,958 | 0,739 | 2,958 | 0,739 | 3,000 |
| Ярославская | 0,838 | 2,598 | 0,840 | 2,619 | 0,784 | 2,404 | 0,784 | 2,438 |
| <i>Среднее</i> | <i>0,714</i> | <i>4,243</i> | <i>0,747</i> | <i>4,063</i> | <i>0,706</i> | <i>3,246</i> | <i>0,745</i> | <i>3,060</i> |

R - множественный коэффициент корреляции

S - стандартная ошибка, ц/га

. Refreshed estimations of agroclimatic indicators trends for the period of modern global warming since 1976 to 2010.

| Federal district | Changes in heat and moisture provision (figure/ 10 years) | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|---------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | winter | | spring | | summer | | autumn | | GTK | Buduko's aridity index | Number of days with temperature >10°C | Temperature total > 10° C |
| | T, °C | R, mm | T, °C | R, mm | T, °C | R, mm | T °C | R, mm | | | | |
| Center | 0,74 | -3 | 0,47 | -1 | 0,73 | -14 | 0,57 | 0 | -0,115 | 0,064 | 3 | 131 |
| Northwest | 0,90 | 6 | 0,36 | 6 | 0,57 | -1 | 0,47 | -3 | -0,032 | 0,026 | 3 | 106 |
| Volga region | 0,53 | 0 | 0,47 | 6 | 0,57 | -12 | 0,65 | -5 | -0,081 | 0,056 | 2 | 93 |
| South | 0,34 | 1 | 0,27 | 9 | 0,64 | -4 | 0,53 | 12 | -0,019 | -0,015 | 4 | 134 |
| Urals | 0,27 | 1 | 0,45 | 8 | 0,25 | -4 | 0,65 | 0 | -0,023 | 0,015 | 2 | 62 |
| Syberia | 0,06 | 2 | 0,64 | 3 | 0,25 | 7 | 0,23 | 2 | 0,011 | -0,003 | 3 | 55 |
| Far East | 0,46 | 5 | 0,3 | 8 | 0,26 | 6 | 0,44 | -4 | 0,022 | 0,011 | 3 | 68 |
| Russia | 0,41 | 2 | 0,45 | 5 | 0,42 | -2 | 0,46 | 0 | -0,033 | 0,021 | 3 | 84 |

Реанализ запасов продуктивной влаги в пахотном и метровом слоях (Воронежская область)

| Годы | КИУ*, % | Запасы продуктивной влаги в слое 0-20 см (W), мм | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------|--|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|---------------|----------------|--------------|-----------------------|
| | | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | Весна (III-V) | Лето (VI-VIII) | Осень (IX-X) | Тёплый период (III-X) |
| 1967 | 40 | 42 | 32 | 10 | 11 | 11 | 14 | 16 | 14 | 28 | 12 | 15 | 19 |
| 1968 | 52 | 43 | 34 | 18 | 10 | 12 | 16 | 17 | 26 | 32 | 13 | 22 | 22 |
| 1969 | 51 | 36 | 30 | 15 | 11 | 12 | 17 | 19 | 24 | 27 | 13 | 21 | 21 |
| 1970 | 64 | 44 | 33 | 21 | 9 | 2 | 18 | 19 | 25 | 33 | 10 | 22 | 21 |
| 1971 | 51 | 42 | 36 | 12 | 7 | 5 | 14 | 12 | 18 | 30 | 9 | 15 | 18 |
| 1972 | 37 | 33 | 29 | 16 | 4 | 4 | 6 | 19 | 30 | 26 | 5 | 24 | 18 |
| 1973 | 72 | 47 | 24 | 17 | 17 | 17 | 19 | 22 | 29 | 29 | 18 | 26 | 24 |
| 1974 | 66 | 44 | 39 | 22 | 12 | 11 | 16 | 13 | 15 | 35 | 13 | 14 | 22 |
| 1975 | 38 | 42 | 22 | 7 | 4 | 9 | 19 | 15 | 19 | 24 | 11 | 17 | 17 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | 32 | 39 | 25 | 13 | 9 | 9 | 15 | 15 | 23 | 26 | 11 | 19 | 19 |
| 1996 | 44 | 42 | 35 | 10 | 5 | 0 | 12 | 22 | 32 | 29 | 6 | 27 | 20 |
| 1997 | 60 | 45 | 35 | 16 | 7 | 6 | 15 | 19 | 32 | 32 | 9 | 25 | 22 |
| 1998 | 40 | 46 | 36 | 18 | 8 | 8 | 17 | 16 | 17 | 33 | 11 | 16 | 21 |
| 1999 | 37 | 44 | 25 | 19 | 6 | 4 | 16 | 17 | 18 | 30 | 9 | 17 | 19 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 2006 | 52 | 46 | 38 | 16 | 10 | 12 | 13 | 19 | 30 | 33 | 12 | 24 | 23 |
| 2007 | 55 | 51 | 31 | 10 | 12 | 12 | 10 | 16 | 22 | 31 | 12 | 19 | 21 |
| 2008 | 100 | 42 | 33 | 23 | 9 | 5 | 12 | 18 | 22 | 33 | 9 | 20 | 21 |
| 2009 | 75 | 42 | 31 | 17 | 12 | 6 | 15 | 10 | 10 | 30 | 11 | 10 | 18 |
| Максимум | | 51 | 47 | 29 | 21 | 24 | 26 | 26 | 35 | 39 | 21 | 29 | 27 |
| Минимум | | 32 | 20 | 3 | 1 | 0 | 6 | 10 | 10 | 21 | 5 | 10 | 15 |
| Среднее | | 43,2 | 32,2 | 17,6 | 11,5 | 11,5 | 16,4 | 17,7 | 24,0 | 31,0 | 13,1 | 20,9 | 21,8 |
| Тренд, мм/10 лет | | 1,3 | -0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | -0,5 | -0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,2 |
| Козф. кросскорр. | | | 0,23 | 0,13 | 0,59 | 0,71 | 0,53 | 0,27 | 0,82 | | 0,24 | 0,20 | |
| Козф. автокорр. | | 0,04 | -0,03 | -0,06 | -0,16 | 0,11 | 0,14 | -0,16 | -0,04 | 0,20 | 0,01 | -0,09 | 0,13 |

КИУ* - климатический индекс урожайности зерновых культур

- сильная засуха, W≤10

**Сравнительная оценка потерь урожайности яровых зерновых
в засушливые годы
(потери урожайности в % от последнего максимума 2008 г.)**

| Федеральный округ | Год | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| | 1951 | 1972 | 1975 | 1981 | 1995 | 1998 | 2010 |
| Центральный | -16,1 | -45,9 | -36,1 | -53,3 | -25,6 | -34,2 | -50,7 |
| Северо-Западный | 0,5 | -39,7 | 2,0 | -24,3 | -9,7 | -13,5 | -35,3 |
| Приволжский | -22,0 | -35,6 | -44,0 | -58,1 | -28,9 | -60,0 | -61,2 |
| Южный | -18,1 | -52,3 | -49,0 | -59,6 | -30,3 | -43,0 | -56,5 |
| ЕТ России | -13,9 | -43,4 | -31,8 | -48,8 | -23,6 | -37,7 | -50,9 |
| Уральский | 27,5 | 72,8 | -7,5 | -5,2 | 27,2 | -28,5 | -11,4 |
| Сибирский | 12,2 | 50,4 | 0,9 | 9,2 | 19,9 | -8,5 | 23,2 |
| Дальневосточный | 47,9 | 60,5 | 39,5 | 54,6 | 36,5 | 44,4 | 8,5 |

Рис.1 Средняя скорость изменения (тренд) температуры января ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) за период с 1976 по 2010 г.

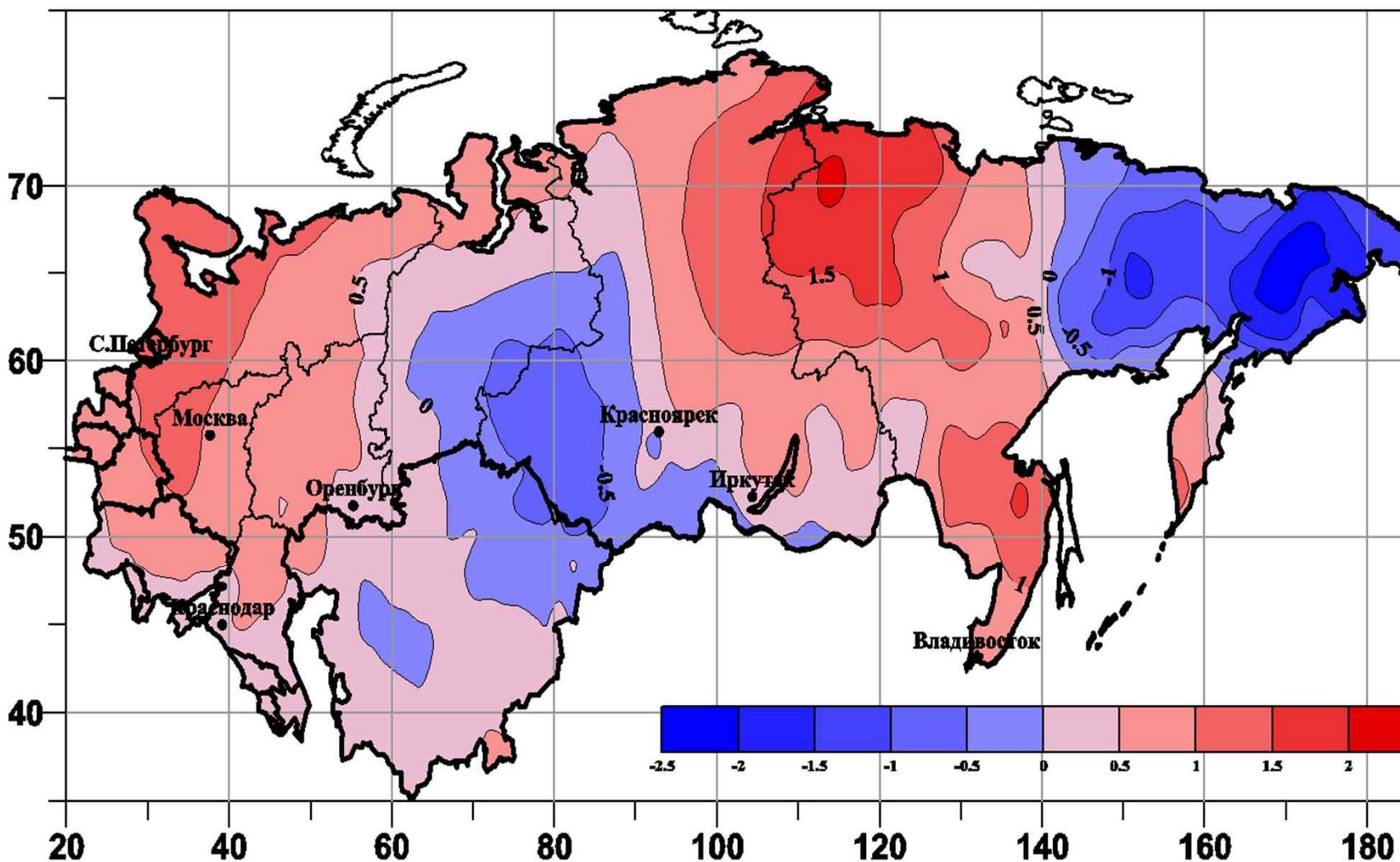


Рис. 2 Средняя скорость изменения (тренд) температуры июля ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) за период с 1976 по 2010 г.

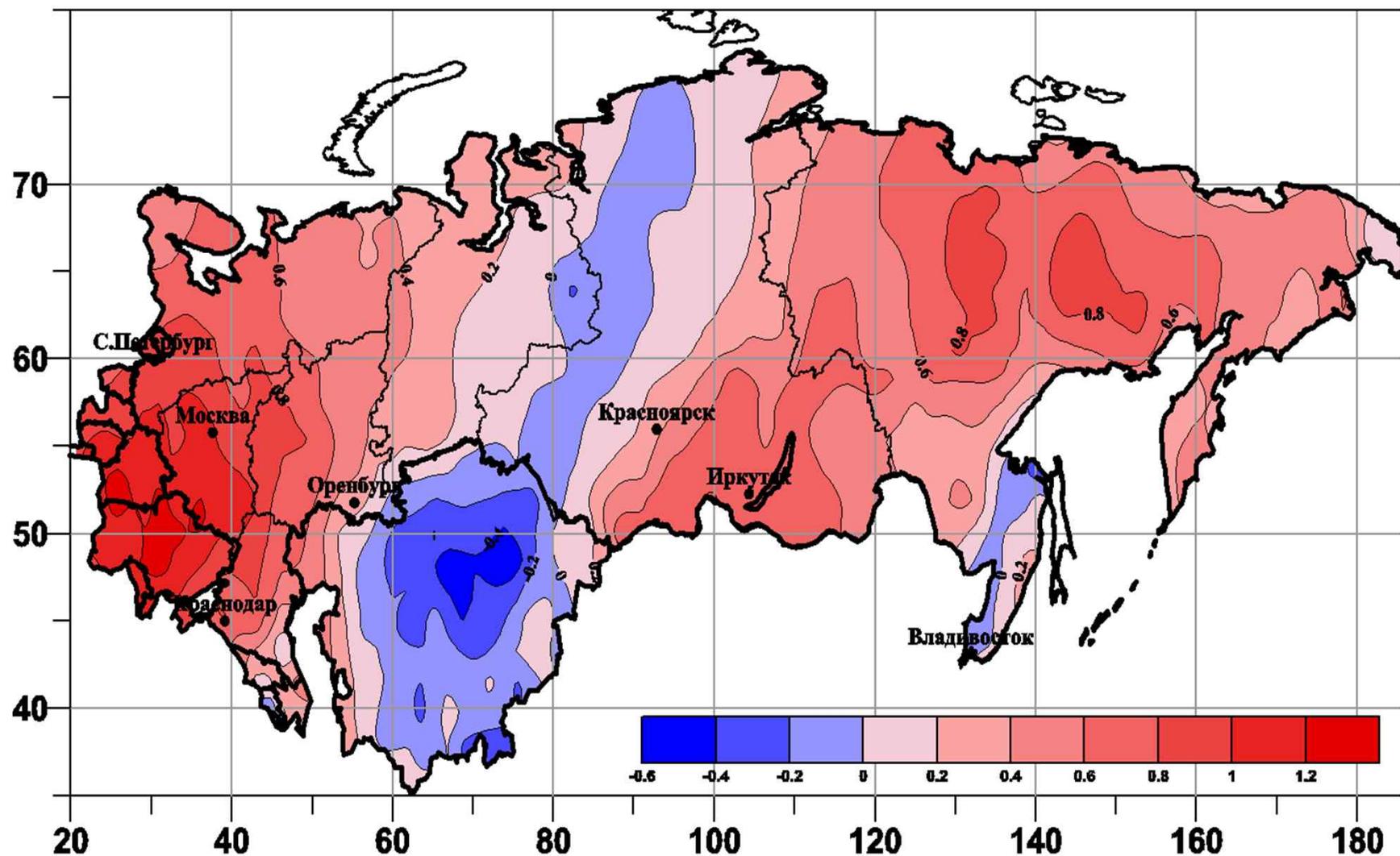


Рис. 5 Средняя скорость изменения (тренд) сумм температур выше 10°C ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) за период с 1976 по 2010 г.

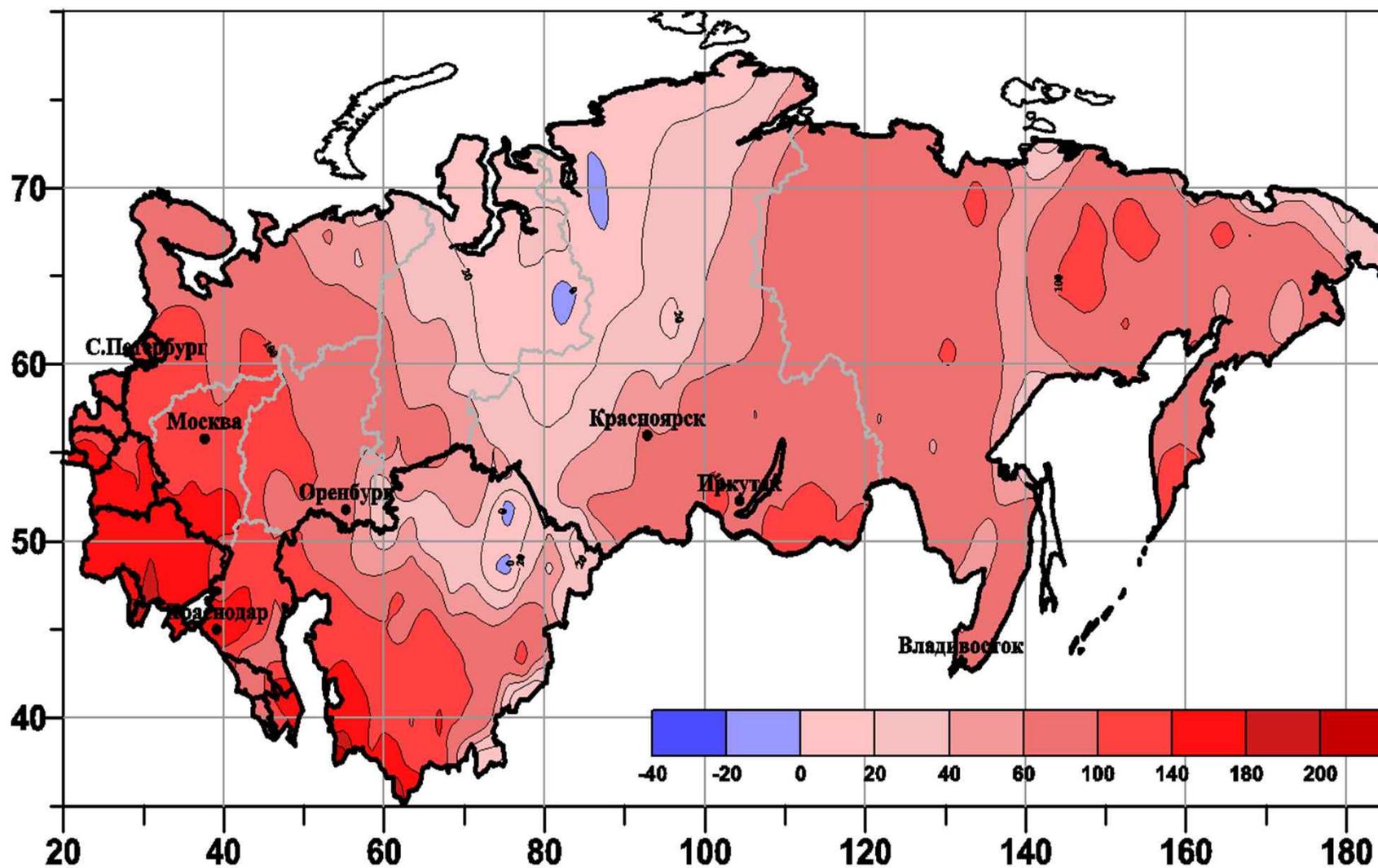
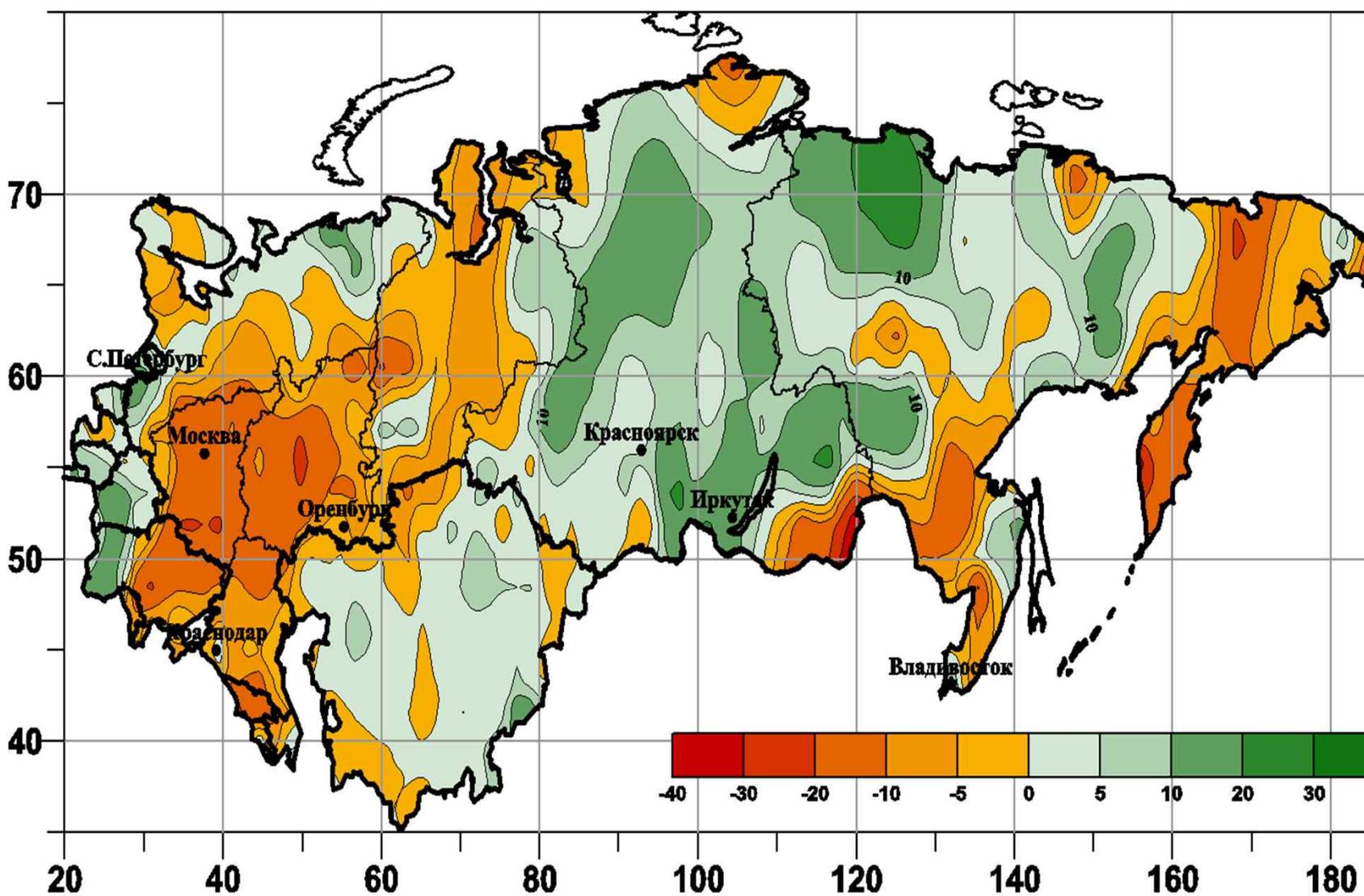


Рис. 7 Средняя скорость изменения (тренд) осадков лета (мм/10 лет) за период с 1976 по 2010 г.



Adjusted estimations of changes in climate-based crop productivity in Russia's regions since 1975 to 2009.

| Federal district | Crops and leguminous plants | Winter maize | Summer barley | Crops and leguminous plants | Winter maize | Summer barley |
|------------------|------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|--------------|---------------|
| | quintale/hectar for 10 years | | | % for 10 years | | |
| Volga region | 0,33 | 1,28 | 0,41 | 2,3 | 7,1 | 3,1 |
| South | 0,27 | 0,99 | 0,09 | 1,2 | 3,7 | 0,5 |
| Center | -0,09 | 0,38 | -0,03 | -0,5 | 1,9 | -0,2 |

. Estimations of possible changes in crop productivity by 2020 and 2040 in the realization of ensemble climate scenario in Voronezh region with (1) and without (2) taking into account changes in content of labile organic mass.

| Crop | Crop productivity change | | | | | | | |
|------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| | years 2011-2030 | | | | years 2041-2060 | | | |
| | quintale/hectar | | % | | quintale/hectar | | % | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Crops | -0,8 | -1,0 | -4,7 | -5,9 | -1,9 | -2,5 | -11,2 | -14,7 |
| Winter maize | -0,2 | -0,6 | -1,0 | -2,9 | -0,7 | -1,5 | -3,4 | -7,3 |
| Summer barley | -1,3 | -1,4 | -7,5 | -8,0 | -3,0 | -3,4 | -17,2 | -19,5 |
| Sunflower | +0,2 | +0,2 | +1,9 | +1,9 | +0,6 | +0,5 | +5,8 | +4,8 |
| Sugar beet | -4,6 | -5,0 | -2,9 | -3,2 | -7,8 | -8,9 | -4,9 | -5,7 |

Таблица 3. Реакция урожайности сельскохозяйственных культур на возможные изменения климата по сценарию GFDL (США) по регионам России

| Регион | Срок реализации сценария, лет | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|
| | 30-40 | 60-70 | 90-100 | 30-40 | 60-70 | 90-100 |
| | Кормовые культуры | | | Зерновые культуры | | |
| Северный | 22 | 32 | 31 | 26 | 24 | 13 |
| Северо-Западный | 21 | 24 | 30 | 22 | 12 | 22 |
| Калининградский | 22 | 22 | 20 | 34 | 25 | 29 |
| Центральный | 19 | 24 | 17 | 27 | 25 | 13 |
| Волго-Вятский | 21 | 30 | 19 | 20 | 26 | 11 |
| Черноземный Центр | 20 | 24 | 7 | 15 | 15 | -7 |
| Поволжье, север | 24 | 30 | 8 | 16 | 19 | -10 |
| Поволжье, юг | 5 | 14 | 1 | 7 | 30 | 20 |
| Северный Кавказ | 2 | 3 | -7 | -6 | -7 | -13 |
| Уральский | 14 | 28 | 17 | 11 | 16 | -7 |
| Зап. -Сибирский | 6 | 19 | 1 | -7 | -1 | -23 |
| Вост.-Сибирский | 0 | 0 | -4 | -12 | -18 | -24 |
| Дальневосточный | 6 | 13 | 7 | 10 | 12 | 5 |
| Россия | 13 | 21 | 11 | 11 | 14 | -1 |

Примечание. Изменение урожайности сельскохозяйственных культур приведено в процентах от современного уровня.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

ГУ “ВНИИСХМ”

(48439) 44-599

[http // СХМ.ru](http://СХМ.ru)

e-l_cxm@meteo.ru