

**Моделирование урожайности в условиях долгосрочных климатических изменений (на примере Тамбовской области).**

Таблица 1

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2030	2040	2050	2100	
Сумма температур	94,3	83,7	92,7	87,7	84,4	85,5	83,5	67,7	94,0	94,6	°С
Сумма осадков	393	204	203	225	144	309	177	255	255	180	мм
Урож-ть	32,6	29,6	20,9	26,0	21,4	29,8	22,9	24,1	28,6	24,9	ц/га

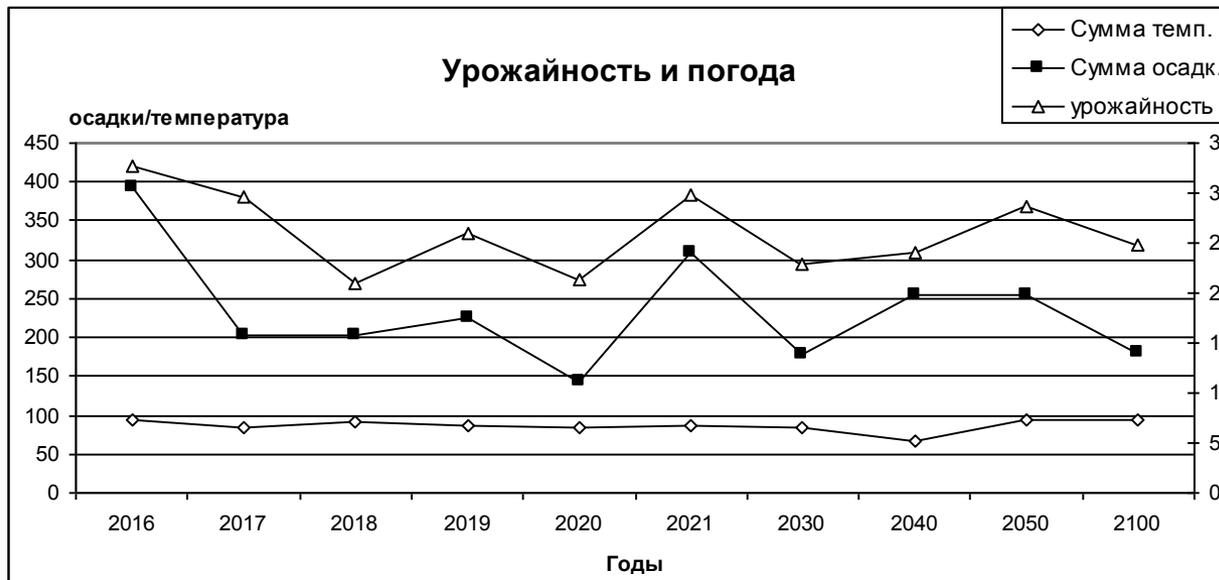


Рис. 1. Прогноз урожайности зерновых и зернобобовых культур в условиях долгосрочных климатических изменений в Тамбовской области.

График на рис. 1 построен на основании уравнения регрессии:

$$Y = 0,05 * X_1 + 0,17 * X_2 - 0,15 \quad (1)$$

где:  $X_1$  - сумма осадков в г. Тамбове за 5 месяцев с 1 апреля по 31 августа.

$X_2$  - сумма среднемесячных температур в г. Тамбове с 1 апреля по 31 августа.

Коэффициент детерминации (D) в уравнении (1) равен 0.31 или D=31%.

Уравнение регрессии вычислено по данным Росстат об урожайности зерновых и зернобобовых культур в регионе, а также статистики о ежемесячных осадках и среднемесячной температуре в г. Тамбове в период с 1995 г. по 2018 г. [3,4].

Годы засушливых весенне-летних сезонов в Европейской части РФ в табл. 2 выделены салатным цветом. Для Тамбовской области эти годы не всегда сопровождались наиболее низким уровнем осадков с апреля по август (табл. 2). Данные из архива [3] отмечены голубым цветом. Данные из погодного архива [4] закрашены коричневым цветом.

Таблица 2

Год	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1995	9,8	187,4	86,9
1996	15,2	68,8	83,1
1997	20,1	137,9	76,1
1998	17,1	142,7	79,0
1999	14,0	140,9	80,2
2000	15,2	186,7	78,4
2001	20,9	179,5	82,5
2002	20,4	105,9	77,3
2003	21,8	208,5	72,4
2004	17,6	168,4	73,5
2005	20,4	128,5	80,4
2006	20,5	131,9	77,9
2007	20,4	140,3	83,0
2008	30,8	130,3	83,0
2009	27,5	145,8	77,2
2010	13,8	34,6	99,4
2011	22,5	153,5	84,5
2012	21,6	188,9	89,5
2013	30,9	184,0	95,2
2014	31,7	174,4	93,5
2015	32,0	268,9	89,3
2016	32,6	393,0	94,3
2017	29,6	203,8	83,7
2018	20,9	203,2	92,7

Из уравнения (1) в частности следует, что:

1) при повышении суммы среднемесячных температур с апреля по август на  $1^{\circ}\text{C}$  урожайность зерновых и зернобобовых культур повышается на  $0,17$  ц/га.

2) при повышении суммы осадков с апреля по август на  $1$  мм в сутки урожайность зерновых и зернобобовых культур повышается на  $0,05$  ц/га.

При прогнозировании урожайности зерновых и зернобобовых культур на краткосрочную перспективу до 2021 г. и долгосрочную перспективу до 2030 г., 2040 г., 2050 г. и далее, до конца 2100 г., климатические данные (температуры, осадки) в уравнение (1) подставлялись из результатов моделирования изменений климата по сценарию rcp 4.5 в модели INM-CM4 института вычислительной математики РАН [1] в интервале с 2015 г. по 2100 г. в соответствии с форматом представления данных для ансамбля климатических моделей CMIP6 [2]. rcp – репрезентативная траектория концентрации парниковых газов. Сценарий rcp 4.5 в модели INM-CM4 предполагает, что к 2100 г. радиационный отклик атмосферы планеты на увеличение выбросов в атмосферу парниковых газов: углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ) и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) в сочетании с воздействием атмосферных аэрозолей, уровнем тропосферного и стратосферного озона и альбедо облаков составит  $4.5 \text{ Вт/м}^2$ .

Альbedo облаков – процентное отношение солнечной радиации рассеянной и отражённой к солнечной радиации, поступившей на границу атмосферы. В сценарии rcp 4.5 предполагается, что эмиссия углекислого газа и других парниковых газов увеличится в атмосфере к 2050 г. до 10 Гт/год и уменьшится к 2100 г., благодаря средствам снижения антропогенного воздействия, до уровня близкого к текущему состоянию. Наиболее пессимистический сценарий – rcp 8.5 предусматривает экспоненциальное увеличение количества парниковых газов в атмосфере к концу 21 века примерно в 2.5 раза относительно современного уровня.

К средствам снижения антропогенного воздействия относятся:

- потребление природных ресурсов в ограниченном объёме, исключаящим их деградацию;
- оптимальное использование природных богатств, минимизация отходов производства и жизнедеятельности;
- охрана наиболее ценных природных территорий;
- выявление и минимизация экологических рисков, связанных с возникновением чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера.

### ***Выводы.***

1) Из уравнения (1) следует, что рост суммы среднемесячных температур с апреля по август оказывает большее (в 3.4 раза) воздействие на урожайность зерновых и зернобобовых культур в Тамбовской области, чем увеличение суммы осадков, за тот же период. Это значит, что с повышением среднегодовой температуры в регионе в результате долгосрочных климатических изменений, урожайность зерновых и зернобобовых культур будет расти. Это же подтверждают и данные из табл.2. Так с 1995 г. по 2018 г. среднее значение суммы среднемесячных температур в регионе с апреля по август составило 84 °С, средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур составила 22 ц/га. За последние 6 лет с 2013 г. по 2018 г. по статистики погодных данных [4] среднее значение суммы среднемесячных температур в регионе с 1 апреля по 31 августа, увеличилось на 7 °С или на 8,3% до 91 °С, в то время как средняя урожайность выросла на 7,6 ц/га или на 34,5% до 29,6 ц/га.

2) График на рис. 1 и модельные расчёты с помощью уравнения (1) по данным изменения климата [1], отвечают сценарию гср 4.5 по вариации климатических параметров (температуры и осадков) до конца 21 века. Сумма среднемесячных температур с апреля по август в 2100 г. может вырасти в результате долгосрочных климатических изменений согласно модельным данным на 1,9 °С по сравнению с 2018 г. или со средней скоростью 0,2 °С/10лет. Это в 2,4 раза медленнее чем, наблюдавшаяся скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории РФ в период с 1976 г. по 2018 г., которая составила 0,47 °С/10лет [5]. И, примерно, совпадает со скоростью роста наблюдаемой глобальной температуры 0,17-0,18 °С/10лет за период с 1976 г. по 2018 г. [5].

Однако, в результате прогнозируемого снижения суммы осадков с апреля по август в 2100 г. может несколько замедлится рост урожайности: на 4 ц/га (или на 19%) до 24,9 ц/га (табл. 1, рис. 1) по сравнению с 2018 г.

Сценарий гср 4.5 означает, что изменение радиационного воздействия (radiating forcing) составит к 2100 г. + 4.5 Вт/м<sup>2</sup>. Т.е. интенсивность радиации или плотность потока радиации возрастёт на 4.5 Вт/м<sup>2</sup>. Плотность потока радиации измеряется в Вт/м<sup>2</sup>.

Плотность потока радиации в  $1 \text{ Вт/м}^2$  означает, что через поверхностную площадь в  $1 \text{ м}^2$  за 1 сек переносится энергия равная 1 джоулю.

- 1) Расширение механизмов и средств экополитики России в сочетании с положениями, разработанными мировым сообществом защиты экологии, могут сдерживать антропогенные воздействия на атмосферу в рамках сценария изменения климата гср 4.5 до конца 2100 г.
- 2) Статистические ряды данных архива погоды (табл. 2) хорошо коррелируют с данными о тепловых аномалиях, наблюдаемых в климатических центрах Британии: центр Хэдли (Had CRU UEA) и Университете Восточной Англии (NOAA).

Так в частности: самым тёплым годом на планете за всё время наблюдений остаётся 2016 г., в котором аномалия глобальной температуры по данным Had CRU UEA составила  $+0,797 \text{ }^\circ\text{C}/10$  лет, а по данным NOAA  $+0,821 \text{ }^\circ\text{C}/10$  лет [5]. Это подтверждается данными из табл.2, когда сумма среднемесячных температур с апреля по август достигла в Тамбовской области значения в  $94,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Однако, для Тамбовской области наибольшее значение суммы среднемесячных температур с апреля по август: 99,4 °С (табл. 2) было в 2010 г. В тот год на Европейской части территории России наблюдалась аномальная жара и засуха. В Москве в 2010 г. летняя температура достигала 36 °С. Ещё один год: 2013 из табл.2 с повышенным значением суммы среднемесячных температур с апреля по август в 95,2 °С (табл. 2) запомнится и россиянам и жителям Европы аномальной жарой в Европе. Во Франции, Центральной и Восточной Европе летняя температура превышала норму на 2 °С.

Из табл. 1 видно, что аналогичные аномально тёплые периоды с апреля по май могут произойти в Тамбовской области в 2050 г. и в 2100 г. в условиях прогнозируемого достаточного уровня суммы осадков в этом регионе с апреля по август (табл. 1). Что может поддержать урожайность на приемлимой отметке (табл. 1).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.П. Дымников, В.Н. Лыконос "Модели природной среды и климата". – Электронный ресурс. [www.inm.ras.ru](http://www.inm.ras.ru). Научные направления. 2019. –М.
2. <https://esgf-node.llnl.gov/> - архив модельных данных WCRP (World Climate Research Programm) CMIP6 поддерживаемый управлением науки Министерства энергетики США.
3. [www.atlas-yakutia.ru/weather/](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/) - архив погодных данных.
4. [www.meteo9.ru](http://www.meteo9.ru) - архив погодных данных.
5. Доклад об особенностях климата на территории России за 2018 г. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М. 2019 г. Электронный ресурс. [www.meteorf.ru/pdf-download/o-klimat-rf-2018.pdf](http://www.meteorf.ru/pdf-download/o-klimat-rf-2018.pdf). стр.6