

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА И УРОЖАЙНОСТЬ СОИ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Т.Д. СИХАРУЛИДЗЕ, В.К. ХРАМОЙ

(Калужский филиал РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

На основании многолетних исследований проанализировано влияние температурного режима на продолжительность вегетационного периода и урожайность сои сорта Магева в условиях Калужской области. Анализ температуры воздуха по усредненным пятилетним данным показывает, что средняя температура воздуха в Калужской области за 4 месяца активной вегетации растений (май–август) увеличилась за 25 лет на 1,7°C (+0,85°C за 10 лет). Наиболее интенсивное увеличение температуры наблюдалось в мае на 1,3°C за 10 лет, наименее интенсивное в июне – на 0,4°C за 10 лет. Повышение температуры воздуха способствовало более быстрому прогреванию почвы, в результате чего оптимальный срок посева сои сдвинулся на более ранние даты – с 10 мая в 1991–1995 гг. на 5 мая в 2011–2015 гг. Соответственно и срок созревания сои сорта Магева переместился с первой декады сентября в 1991–1995 гг. на третью декаду августа в 2011–2015 гг. За 25 лет потепление климата привело к сокращению периода вегетации сои сорта Магева на 10 дней (со 109 до 99 дней), что имеет важное значение для производства. При этом сумма активных температур за вегетационный период на протяжении всех пятилетий оставалась практически на одном уровне и составила в среднем 1799°C с колебаниями от 1756°C в 2001–2005 гг. до 1812°C в 2011–2015 гг. Максимальное отклонение от средней составило 2,0%. Выявлена тесная обратная связь между температурой воздуха в мае–июне и продолжительностью периода всходы–начало цветения, а также между температурой в августе и продолжительностью периода цветение–полная спелость, коэффициент корреляции $r=-0,74$ и $-0,64$ соответственно. Биологическая урожайность сои составила в среднем 1,5 т/га, с колебаниями от 0,3 до 2,8 т/га. Не выявлено тесной зависимости между температурой воздуха в период вегетации и урожайностью скороспелого сорта сои Магева. Наибольшая урожайность по пятилетиям получена в 2006–2010 гг. с температурой воздуха, близкой к среднемноголетней. Это указывает на то, что температурный режим Калужской области достаточен для нормального роста и развития раннеспелых сортов сои с периодом вегетации 100–110 дней.

Ключевые слова: соя, вегетационный период, урожайность семян, корреляция, сумма температур.

Введение

В последние годы проводится большая работа по интродукции сои в Центральном районе Нечерноземной зоны России. В 2016 г. производство сои в Рязанской области достигло 19,9 тыс. т, в Брянской – 19,2 тыс. т, в Тульской области 26,3 тыс. т

[6]. В Калужской области пока нет значительных производственных посевов сои, но проводится активная научно-исследовательская работа с этой культурой.

Поскольку соя – теплолюбивая культура, главным сдерживающим фактором ее интродукции в Нечерноземье является дефицит тепла. Минимальная температура почвы для прорастания семян сортов сои северного экотипа находится в пределах 4–5°C, а для появления всходов в пределах 6–8°C. Сорта сои северного экотипа способны выдерживать заморозки до минус 5–6°C [2]. Оптимальная температура для сои в период цветения и образования бобов составляет 22–25°C, в период налива семян – 20–23°C [4]. Сумма активных температур за вегетационный период (всходы–полная спелость) для самых скороспелых сортов составляет 1800–1900°C [5].

По среднемноголетним данным сумма температур в Калужской области за 4 месяца активной вегетации (май–август) составляет 1930°C. Таким образом, сумма температур в данном регионе является предельной для сои. В то же время наблюдается четко выраженная тенденция потепления климата. По данным ГУ ВНИИСХ [7], на территории западных областей России наблюдаются высокие скорости роста температуры воздуха в летний период. Так, средняя температура воздуха в июле в этом регионе за 10 лет увеличивается в среднем на 1,0–1,2°C, а сумма активных температур на 33°C, что является важной предпосылкой положительного ответа на вопрос о перспективах возделывания сои в Калужской области.

Целью исследований было установить зависимость продолжительности вегетационного периода и урожайности сои от температуры воздуха в течение вегетационного периода в условиях Калужской области.

Материал и методика

Для анализа были взяты результаты полевых опытов, выполненных на опытном поле Калужского филиала РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с соей сорта Магева в период с 1991 по 2015 г. Почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная. Содержание гумуса 1,2–1,3% (по Тюрину), подвижного фосфора – 230–250 мг/кг, обменного калия – 71–84 мг/кг почвы (по Кирсанову), бора – 0,4–0,5 мг/кг (в водной вытяжке), молибдена – 0,15–0,27 мг/кг (в оксалатной вытяжке), $pH_{\text{сол.}}$ – 5,6– 5,8. Опыты заложены методом рендомизированных повторений в 4-кратной повторности, площадь делянки – 25 м², ширина междурядья – 45 см. Норма высева – 600 тыс. всхожих семян. Посев проводили в первой декаде мая. Для оптимизации уровня минерального питания применялись калийные удобрения в дозе 60 кг/га д. в. Для активизации симбиотической азотфиксации семена перед посевом инокулировали активным штаммом ризобий 636А. Учитывали наступление фаз развития, определяли урожайность и структуру урожая. Наблюдения и учеты проводили по общепринятым методикам. Статистическую обработку проводили методом дисперсионного и корреляционного анализа [3].

Результаты и обсуждение

Анализ температуры воздуха по усредненным пятилетним данным показывает, что средняя температура воздуха в Калужской области за 4 месяца активной вегетации растений (май–август) увеличилась за 25 лет на 1,7°C – с 15,4°C в период 1991–1995 гг. до 17,1°C в период 2011–2015 гг. (+0,85°C за 10 лет). Наиболее интенсивное увеличение температуры наблюдалось в мае – с 12,1°C до 14,7°C или на 1,3°C за 10 лет. Наименее интенсивным оно было в июне – на 0,4°C за 10 лет (табл. 1). Средне-

суточная температура воздуха в Калужской области в июле и августе составляет 16–19°C. Это ниже оптимальных для сои значений, однако в дневные часы температура воздуха повышается до 22–24°C, что соответствует требованиям выращивания сои.

Таблица 1

Динамика температуры воздуха в течение активного вегетационного периода в Калужской области (средняя по пятилетиям 1991–2015 гг.), °С

Годы	Месяцы				
	май	июнь	июль	август	май–август
1991–1995	12,1	16,2	17,1	16,1	15,4
1996–2000	12,4	18,4	18,9	15,7	16,3
2001–2005	12,1	15,1	19,7	16,7	15,9
2006–2010	13,2	16,7	18,9	17,8	16,6
2011–2015	14,7	17,0	19,3	17,4	17,1
Средняя многолетняя	12,3	16,2	18,0	16,5	15,7

Сумма температур за май–август увеличилась в период 2011–2015 гг. по сравнению с периодом 1991–1995 гг. на 219°C (+109,5°C за 10 лет) (табл. 2). Аналогично температуре воздуха наибольший прирост суммы температур был в мае (+41°C за 10 лет) и в июне (+34,5°C за 10 лет); наименьший – в июле (+14°C за 10 лет) и в августе (+20°C за 10 лет).

Таблица 2

Сумма температур в течение активного вегетационного периода в Калужской области (средняя по пятилетиям, 1991–2015 гг.), °С

Годы	Месяцы				
	май	июнь	июль	август	май–август
1991–1995	376	485	531	500	1892
1996–2000	384	550	585	492	2011
2001–2005	373	453	611	520	1957
2006–2010	409	502	587	552	2050
2011–2015	458	513	600	540	2111
Средняя многолетняя	381	483	558	508	1930

Повышение температуры воздуха способствовало более быстрому прогреванию почвы, в результате чего оптимальный срок посева сои сдвинулся на более ранние даты – с 10 мая в 1991–1995 гг. на 5 мая в 2011–2015 гг. Соответственно и срок созревания сои сорта Магева переместился с первой декады сентября в 1991–1995 гг. на третью декаду августа в 2011–2015 гг., что весьма существенно для качественного проведения уборочных работ в условиях производства.

Анализ вегетационного периода сои сорта Магева показывает, что период от всходов до начала цветения в среднем составляет 46–52 дня, а период от начала цветения до полной спелости – 53–60 дней (табл. 3). Наблюдается тенденция сокращения обоих периодов. В целом период вегетации сои сорта Магева сократился

за время наблюдений на 10 дней – со 109 дней в период 1991–1995 гг. до 99 дней в период 2011–2015 гг. При этом сумма активных температур за вегетационный период на протяжении всех пятилетий оставалась практически на одном уровне и составила в среднем 1799°C, с колебаниями от 1756°C в 2001–2005 гг. до 1812°C в 2011–2015 гг. (табл. 4). Максимальное отклонение от средней составило 2,0%.

Т а б л и ц а 3

**Продолжительность межфазных периодов сои сорта Магева
(средняя по пятилетиям, 1991–2015 гг.), дней**

Годы	Всходы–цветение	Цветение–полная спелость	Всходы–полная спелость
1991–1995	51	58	109
1996–2000	46	60	106
2001–2005	52	55	107
2006–2010	48	54	102
2011–2015	46	53	99

Т а б л и ц а 4

**Сумма активных температур за период вегетации сои сорта Магева
(средняя по пятилетиям, 1991–2015 гг.), °С**

Годы	Всходы–цветение	Цветение–полная спелость	Всходы–полная спелость
1991–1995	823	976	1799
1996–2000	813	1003	1816
2001–2005	764	992	1756
2006–2010	776	1005	1781
2011–2015	791	1021	1812

Для оценки влияния температурного режима на развитие сои мы рассчитали коэффициенты корреляции между среднемесячной температурой воздуха и продолжительностью вегетационного периода. Выявлена тесная обратная зависимость между температурой воздуха в мае–июне и продолжительностью периода всходы–начало цветения, коэффициент корреляции $r=-0,74$. При этом большее влияние на этот период оказывает температура июня ($r=-0,64$), чем мая ($r=-0,52$) (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

**Коэффициенты корреляции продолжительности периода всходы–цветение
с температурой воздуха в мае и июне (1991–2015 гг.)**

Период	Май	Июнь	Май–июнь
1991–1995 гг.	-0,37	-0,76	-0,74
1996–2000 гг.	-0,05	-0,99	-0,64
2001–2005 гг.	-0,57	+0,16	-0,24
2006–2010 гг.	-0,89	-0,35	-0,73
2011–2015 гг.	-0,47	-0,59	-0,83
1991–2015 гг.	-0,52	-0,64	-0,74

Продолжительность периода начало цветения–полная спелость определяется в значительной степени температурой августа, коэффициент корреляции $r=-0,62$. Температура июля в меньшей степени влияет на этот период, $r=-0,29$ (табл. 6). В целом на продолжительность вегетационного периода наибольшее влияние в условиях Калужской области оказывает температурный режим мая и августа, коэффициенты корреляции составили соответственно $r=-0,66$ и $r=-0,58$ (табл. 7). Прослеживается довольно тесная связь продолжительности вегетационного периода сои и со средней температурой воздуха за 3 летних месяца (июнь–август), $r=-0,54$. Аналогичные данные были получены в опытах РГАУ-МСХА в опытах с люпином [1].

Т а б л и ц а 6

Коэффициенты корреляции продолжительности периода цветение–созревание с температурой воздуха в июле и августе (1991–2015 гг.)

Период	Июль	Август	Июль–август
1991–1995 гг.	-0,10	+0,47	+0,59
1996–2000 гг.	-0,16	-0,79	-0,66
2001–2005 гг.	+0,64	-0,53	+0,57
2006–2010 гг.	-0,74	-0,74	-0,91
2011–2015 гг.	-0,44	-0,56	-0,55
1991–2015 гг.	-0,29	-0,62	-0,54

Т а б л и ц а 7

Коэффициенты корреляции продолжительности периода всходы–полная спелость с температурой воздуха в мае–августе (1991–2015 гг.)

Период	Май	Июнь	Июль	Август	Июнь–август
1991–1995 гг.	-0,70	+0,10	+0,17	+0,07	+0,16
1996–2000 гг.	-0,38	-0,51	-0,25	-0,41	-0,73
2001–2005 гг.	-0,81	+0,02	+0,80	-0,49	+0,48
2006–2010 гг.	-0,91	-0,46	-0,65	-0,85	-0,78
2011–2015 гг.	+0,74	+0,46	-0,45	-0,38	-0,18
1991–2015 гг.	-0,66	-0,22	-0,29	-0,58	-0,54

Урожайность сои значительно колебалась по годам исследований – от 0,3 т/га в чрезвычайно жарком засушливом 1992 г. до 2,8 т/га – в наиболее благоприятном по температурному режиму и увлажнению 2004 г. Средняя урожайность по пятилетиям изменялась в довольно узком интервале – от 1,42 до 1,70 т/га (табл. 8). Наибольшая средняя урожайность по пятилетиям наблюдалась в период 2001–2005 гг. (1,70 т/га), когда температура воздуха была на уровне среднеголетних значений. В остальные пятилетия средняя урожайность оставалась довольно близкой 1,42–1,50 т/га. Повышение температуры воздуха в течение вегетационного периода не приводило к значительному росту урожайности сои. Увеличение средней урожайности в наиболее «теплые» пятилетия 2006–2010 и 2011–2015 гг. составило по сравнению с наиболее «прохладным» пятилетием 1991–1995 гг., соответственно, 0,08 и 0,06 т/га или 5,6 и 4,2%.

**Урожайность семян сои и коэффициенты корреляции урожайности
с температурой воздуха**

Годы	Урожайность, т/га	+т/га	+%	Коэффициенты корреляции	
				май–август	июль–август
1991–1995	1,42	–	–	+0,22	-0,62
1996–2000	1,44	0,02	1,4	+0,71	-0,01
2001–2005	1,70	0,28	19,7	+0,11	+0,01
2006–2010	1,50	0,08	5,6	-0,41	-0,25
2011–2015	1,48	0,06	4,2	-0,12	-0,50
1991–2015	1,51	–	–	-0,14	-0,14

Проведенный корреляционный анализ подтверждает отсутствие прямой зависимости между температурой воздуха в период генеративного развития сои и урожайностью семян. Более того, в два пятилетних периода 1991–1995 гг. и 2011–2015 гг. отмечена обратная зависимость между этими показателями: $r=-0,62$ и $-0,50$ соответственно. Это указывает на то, что температурный режим Калужской области достаточен для нормального роста и развития раннеспелых сортов сои с периодом вегетации 100–110 дней.

Заключение

1. В условиях Калужской области потепление климата за 25 лет исследований привело к сокращению периода вегетации сои сорта Магева на 10 дней (со 109 до 99 дней), что имеет важное хозяйственное значение.

2. Выявлена тесная обратная связь между температурой воздуха в мае–июне и продолжительностью периода всходы–начало цветения, а также между температурой воздуха в августе и продолжительностью периода цветения–полная зрелость.

3. Не выявлено тесной зависимости между температурой воздуха в период вегетации и урожайностью скороспелого сорта сои Магева. Наибольшая урожайность по пятилетиям получена в 2006–2010 гг. с температурой воздуха, близкой к средне-многолетней.

Библиографический список

1. Гатаулина Г.Г., Соколова С.С., Бельшикина М.Е. Системный подход к анализу динамических характеристик продукционного процесса у зерновых бобовых культур // Известия ТСХА. 2014. Вып. 2. С. 69–95.
2. Гуреева М.П. Особенности возделывания сои в условиях Рязанской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: МСХА, 1977. 16 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Енкен В.Б. Соя. М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1959. 653 с.
5. Посыпанов Г.С. Соя в Подмоскowie. М.: РГАУ-МСХА, 2007. 200 с.
6. Производство соевых бобов в России по регионам: рейтинг 2016. URL: <http://ab-centre.ru/news/proizvodstvo-soevyh-bobov-v-rossii-po-regionam-reyting-2016>.
7. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Влияние изменения климата на сельское хозяйство // Развитие сельскохозяйственной метеорологии в России. Изд. 2-е / под ред. А.Д. Клещенко, И.Г. Грингофа. Обнинск, 2009. С. 168–190.

EFFECT OF TEMPERATURE MODE ON VEGETATION PERIOD LENGTH AND SOYBEAN YIELD IN THE CENTRAL NON-BLACK SOIL ZONE

T.D. SIKHARULIDZE, V.K. KHRAMOY

(Kaluga Branch of Russian State Timiryazev Agrarian University)

The authors have analyzed the influence of temperature conditions on the duration of the vegetation period and crop capacity of the Maheva soybean variety in the Kaluga region on the basis of many-year research.

The analysis of air temperature according to average five-year data shows that an average air temperature in the Kaluga region in 4 months of active vegetation of plants (May–August) has increased by 1,7°C over a period of 25 years (+0,85°C over 10 years). The most intensive increase in temperature was observed in May – by 1,3°C over a period of 10 years, the least intensive increase was noticed in June – by 0,4°C over a period of 10 years. The air temperature increase contributed to more rapid warming up of soil, therefore the optimum sowing time of soybean was shifted to earlier dates from May 10 in 1991–1995 to May 5 in 2011–2015. Respectively, the maturing period of the Mageva soybean variety has shifted from the first decade of September in 1991–1995 to the third decade of August, 2011–2015.

Climate warming over a period of 25 years has resulted in a reduction of the vegetative period of the Maheva soybean variety by 10 days (from 109 to 99) that is essential for its production.

At the same time the sum of active temperatures for the vegetative period throughout all five-year periods has remained almost at the same level and has averaged 1799°C with fluctuations from 1756°C in 2001–2005 till 1812°C in 2011–2015. The maximum deviation from the average has amounted to 2%.

The studies have revealed close reverse relationship between air temperature in May and June and the duration of the period from the seedlings to the beginning of flowering, as well as between temperature in August and the duration of the period from flowering till full ripeness, the coefficient of correlation of $r=-0,74$ and $-0,64$, respectively. Biological productivity of soybeans has averaged 1,5 t/hectare with fluctuations from 0,3 t/hectare to 2,5 t/hectare.

Still the studies have revealed no close relationship between the air temperature in the vegetation period and crop capacity of the early maturing Maheva soybean variety. The highest yield in five-year periods was observed in a period of 2006–2010 with the air temperature close to the yearly average.

The results indicate that temperature conditions of the Kaluga region are sufficient for the normal growth and development of early ripening grades of soybeans with a period of vegetation of 100–110 days.

Key words: soybeans, vegetation period, seed yield, correlation, sum temperatures.

References

1. Gataulina G.G., Sokolova S.S., Belyshkina M.Ye. Sistemy podkhod k analizu dinamicheskikh kharakteristik produktsionnogo protsessa u zernovykh bobovykh kul'tur [Systems approach to the analysis of the dynamic characteristics of the production process in cereal legumes] // Izvestiya TSKhA. 2014. Issue. 2. P. 69–95.

2. Gureyeva M.P. Osobennosti vozdeleyvaniya soi v usloviyakh Ryazanskoy oblasti [Peculiarities of soybean cultivation in the Ryazan region]: self-review of PhD (Ag) thesis. M.: MSKhA, 1977. 16 p.

3. *Armor B.A.* Metodika polevogo opyta [Methodology of field experiments]. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.

4. *Enken V.B.* Soya [Soybeans]. M.: Gos. publishing house of agricultural workers. lit-ry, 1959. 653 p.

5. *Popynov G.S.* Soya v Podmoskovye [Soybean growing in the Moscow region]. M.: RGAU-MSKhA, 2007. 200 p.

6. Proizvodstvo soyevykh bobov v Rossii po regionam: reyting 2016 [Production of soybean in Russia by regions, the rating of 2016]. Available at: <http://ab-centre.ru/news/proizvodstvo-soevykh-bobov-v-rossii-po-regionam-reyting-2016>.

7. *Sirotenko O.D., Pavlova V.N.* Vliyaniye izmeneniya klimata na selskoye khozyaystvo [The influence of climate change on agriculture] // *Razvitiye selskokhozyaystvennoy meteorologii v Rossii*. 2nd ed. / ed. by A.D. Kleshchenko, I.G. Gringof. Obninsk, 2009. P. 168–190.

Сихарулидзе Тамила Давидовна – к. с.-х. н., доц. кафедры химии, почвоведения, землеустройства и БЖД КФ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (248007, г. Калуга, ул. Вишневого, д. 26; тел.: (910) 541-64-96; e-mail: tamila_sikharulidze@mail.ru).

Храмой Виктор Кириллович – д. с.-х. н., проф., зав. кафедрой агрономии КФ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (248007, г. Калуга, ул. Вишневого, д. 25; тел. (8422) 72-50-16; e-mail: kfmsxa@kaluga.ru).

Tamila D. Sikharulidze – PhD (Ag), Associate professor of Department of Chemistry, Soil Science, Land Management and Safety of Living, Kaluga Branch of Russian Timiryazev State Agrarian University (248007, Kaluga, Vishnevsky str., 26; phone: +7 (910) 541-64-96; e-mail: tamila_sikharulidze@mail.ru).

Viktor K. Khramoy – DSc (Ag), Professor, Head of Agronomy Department, Kaluga Branch of Russian Timiryazev State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy (248007, Kaluga, Vishnevsky str., 26; phone +7 (8422) 72-50-16; e-mail: kfmsxa@kaluga.ru).