

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ СКОРОСПЕЛЫХ ОБРАЗЦОВ СОИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ

И. В. Сеферова, Л. Ю. Новикова

Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: i.seferova@vir.nw.ru

Резюме

Оценены климатические потребности скороспелых образцов сои в межфазные периоды посев-всходы и всходы-цветение в условиях Северо-Запада Российской Федерации. Главным регулирующим фактором продолжительности этих периодов является теплообеспеченность. Продолжительность периода посев-всходы в интервале от 10 до 19°C с ростом средних за период температур сокращается, а при более высоких температурах становится постоянной (минимальной). Продолжительность периода всходы-цветение с ростом температур сокращается и для части образцов при температурах выше 19°C становится постоянной. Вторым по значимости фактором, определяющим продолжительность данных периодов, является количество осадков. Отсутствие осадков при посеве замедляет появление проростков. Избыток осадков в период всходы-цветение замедляет начало цветения.

Ключевые слова: соя, Северо-Запад Российской Федерации, посев-всходы, всходы-цветение, температура, осадки.

CLIMATIC FACTORS AFFECTING THE DEVELOPMENT OF EARLY SOYBEAN ACCESSIONS IN THE ENVIRONMENTS OF THE RUSSIAN NORTHWEST

I. V. Seferova & L. Y. Novikova

N. I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry,
St. Petersburg, Russia, e-mail: i.seferova@vir.nw.ru

Summary

Climate requirements of early soybean forms have been evaluated in the planting-shooting and shooting-flowering interphase periods under the conditions of the Russian Northwest. The mean temperature is the principal factor regulating the duration of these periods. The duration of the period from planting to shooting within the interval from 10°C to 19°C has reduced with the growth of mean temperatures, and at temperatures above 19°C becomes constant (minimum). The duration of the period from shooting to flowering has reduced with the growth of temperatures, and for several accessions has become constant at temperatures above 19°C. Another, though less important factor determining the duration of these periods is rainfall. Absence of rainfall at the planting phase delays germination. Excessive rainfall in the shooting-flowering period delays the beginning of flowering.

Keywords: soybean, Russian Northwest, planting-shooting, shooting-flowering, temperature, rainfall.

Введение

В связи с наблюдающимся потеплением климата и перспективами продвижения относительно теплолюбивых культур в северные регионы, актуальным остается вопрос количественной оценки потребностей культур и сортов в основных жизненных факторах при выращивании в нетрадиционных для них условиях. В данной работе продолжены проводящиеся во Всероссийском научно-исследовательском институте растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР) многолетние исследования по выявлению биологического потенциала сои в условиях Северо-Запада Российской Федерации (Щелко, 1995; Вишнякова и др., 2007; Сеферова и др., 2007). Рассмотрены климатические потребности сои в межфазные периоды посев-всходы и всходы-цветение.

В агроклиматологии существуют насколько методов определения климатических потребностей растений. Метод сопряженных многолетних наблюдений за хозяйственно ценными признаками и метеорологическими условиями требует многих лет наблюдений. Для изучения по методу учащенных посевов Г. Т. Селянинова достаточно одного-двух лет (Мищенко, 2009). Набор образцов сои был нами исследован различными методами. С 1999 по 2013 г. образцы высевались в оптимальные и в ранние сроки на полях Пушкинских лабораторий ВИР (г. Пушкин), а в 2012 и 2013 гг. образцы были там же исследованы методом учащенных посевов. Ранее выполненный анализ этих опытов (Новикова и др., 2013) показал, что главными факторами, регулирующими в условиях Северо-Запада РФ продолжительность периода всходы-цветение образцов сои со слабой фотoperiodической чувствительностью, являются температура и количество осадков за период с температурой выше 15°C. Было найдено, что температурный минимум периода всходы-цветение скороспелых образцов сои равен 10°C, а периода посев-всходы – 7°C.

Задачей данного исследования являлось уточнение (за счет использования в расчетах дополнительных параметров и расширенного экспериментального материала) вида зависимости продолжительностей межфазных периодов посев-всходы и всходы-цветение скороспелых образцов сои от температуры и суммы осадков.

Материалы и методы

Работу выполняли на девяти скороспелых образцах сои различного происхождения. Изучались российские сорта: ‘Окская’, ‘Светлая’ (Рязанский НИИСХ) и ‘Алтом’ (Алтайский НИИСХ) и образцы: Fiskeby 1040-4-2

(Швеция), ‘KG-20’ (Канада). Кроме того были использованы экспериментальные популяции, созданные М. Г. Агаевым в условиях Ленинградской области (ПЭП 2, ПЭП 18, ПЭП 27, ПЭП 28) (Вишнякова, Сеферова, Никишкина, 2002). Все эти образцы характеризуются слабой фотопериодической чувствительностью и способны в условиях Пушкинских лабораторий ВИР формировать выполненные семена.

С 1999 по 2013 гг. посевы образцов сои проводили в оптимальный срок, в последней декаде мая. Ранние посевы в первую-вторую декаду мая были выполнены в 1999, 2000, 2002–2006, 2012, 2013 гг. Учащенные посевы выполняли с 10 мая по 6 августа (в 2012 г.) и с 13 мая по 29 июля (в 2013 г.) с интервалом 3–7 дней. Начиная с посева 12 июля в 2012 г. и 27 июля в 2013 г. цветения успевали достичь не все образцы. Анализировали данные только для вариантов, в которых зацветали все образцы: 15 посевов в 2012 г. и 11 в 2013 г. Всего в анализ было включено по 45 опытов для каждого образца.

Исследовали влияние на продолжительность межфазных периодов температуры воздуха, количества осадков, длины светового дня, даты посева. Использованы данные метеостанции Пушкинских лабораторий ВИР. Для каждого образца определяли продолжительность двух межфазных периодов: посев-всходы и всходы-цветение. Для этих периодов рассчитывали сумму среднесуточных температур и среднюю температуру за период, сумму осадков и среднее количество осадков за сутки. Учитывали длину светового дня и температуру начала прорастания и цветения и рассчитывали среднюю длину дня межфазных периодов. Эти же характеристики рассчитывали для периодов различной продолжительности после посева и появления всходов (10, 20, 30, 40, 50, 60 дней) и за 10 и 20 дней перед началом цветения. Температурный минимум (T_0) межфазного периода и сумму эффективных температур (const) рассчитывали для каждого образца как коэффициенты регрессии сумм температур за соответствующий межфазный период (ΣT) от продолжительности периода (L) (Шиголев, 1951; Новикова и др., 2013):

$$\sum_L T = \text{const} + T_0 L \quad (1)$$

Сравнение средних характеристик образцов проводили методом дисперсионного анализа; зависимости от внешних факторов исследовали методами корреляционного анализа и регрессионного анализа с последовательным включением переменных. Обработку данных проводили в пакете StatsoftStatistica 6. 0 при 5% уровне значимости.

Результаты и обсуждение

Исследуемый период 1999–2013 гг. предоставил широкий диапазон условий тепло- и влагообеспеченности периода посев-цветение сои при полевом изучении на территории Пушкинских лабораторий ВИР. В таблице 1 представлены показатели за 1999–2011 гг. (в которые проводилось многолетнее

изучение образцов) и за 2012 и 2013 гг. (в которые были проведены учащенные посевы). Среднемесячные температуры мая, июня, августа 2013 г. были максимальными за период 1999–2013 гг., июля – выше среднемноголетних.

**Таблица 1. Тепло- и влагообеспеченность полевых сезонов 1999–2013 гг.
(Пушкинские лаборатории ВИР)**

Показатель	Годы				
	1999–2011			2012	2013
	Среднее	Минимум	Максимум		
Т май, °C	11,4	8,0	12,9	13,5	16,3
июнь, °C	16,1	12,9	20,6	16,3	21,6
июль, °C	20,0	17,4	23,6	20,6	20,7
август, °C	17,0	15,3	18,8	17,3	19,5
сентябрь, °C	11,9	9,6	13,7	13,4	12,2
P май, мм	46,1	10,7	77,9	43,6	80,3
июнь, мм	77,3	42,1	145,9	67,7	55,8
июль, мм	69,8	21,4	149,6	39,5	90,8
август, мм	72,7	9,1	151,0	162,4	93,6
сентябрь, мм	57,4	18,6	89,1	86,2	33,8
Дата устойчивого весеннего перехода температур через 10°C	4 мая	19 апреля	26 мая	27 апреля	29 апреля
Сумма температур выше 10°C	2328	1944	2689	2625	2745

Условные обозначения: Т – среднемесячная температура воздуха; Р – сумма осадков

Таблица 2. Продолжительность периодов посев-всходы и всходы-цветение скороспелых образцов сои (Пушкинские лаборатории ВИР, 1999–2013 гг.)

Сорт, образец	Посев-всходы, дни			Всходы-цветение, дни		
	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум
ПЭП 28	11	5	27	35	26	49
ПЭП 18	10	4	25	36	31	49
Светлая	10	3	27	37	27	52
ПЭП 2	10	4	25	37	29	49
ПЭП 27	11	5	27	38	30	52
Fiskeby 1040-4-2	11	4	27	40	24	56
Окская	11	3	27	41	27	59
Алтом	10	4	21	44	35	55
KG-20	10	5	19	46	24	64

Осадки в 2013 г. были немного выше, чем средние за период 1999–2011 гг. Летние учащенные посевы 2012 и 2013 гг. предоставили высокие, не встречавшиеся ранее температуры в период посев-всходы и высокие температуры при большом количестве осадков в период всходы-цветение.

Длина светового дня в начале появления всходов варьировалась от 17 часов до 18 часов 30 минут, а в начале цветения – от 13 часов до 18 часов 30 минут.

Для весенних посевов за время с 1999 до 2013 г. произошло сокращение периода посев-всходы на 1–2 дня. Достоверной тенденции изменения продолжительности периода всходы-цветение за время наблюдений выявлено не было. Продолжительность межфазных периодов посев-всходы и всходы-цветение при весенних посевах приведена в таблице 2.

Посев-всходы

Продолжительность периода посев-всходы составляла от 3 до 27 дней. Анализ объединенных данных многолетнего опыта и опыта с учащенными посевами показал, что средняя температура периода варьировалась от 10 до 26°C, количество осадков – от 0 до 6,5 мм в сутки.

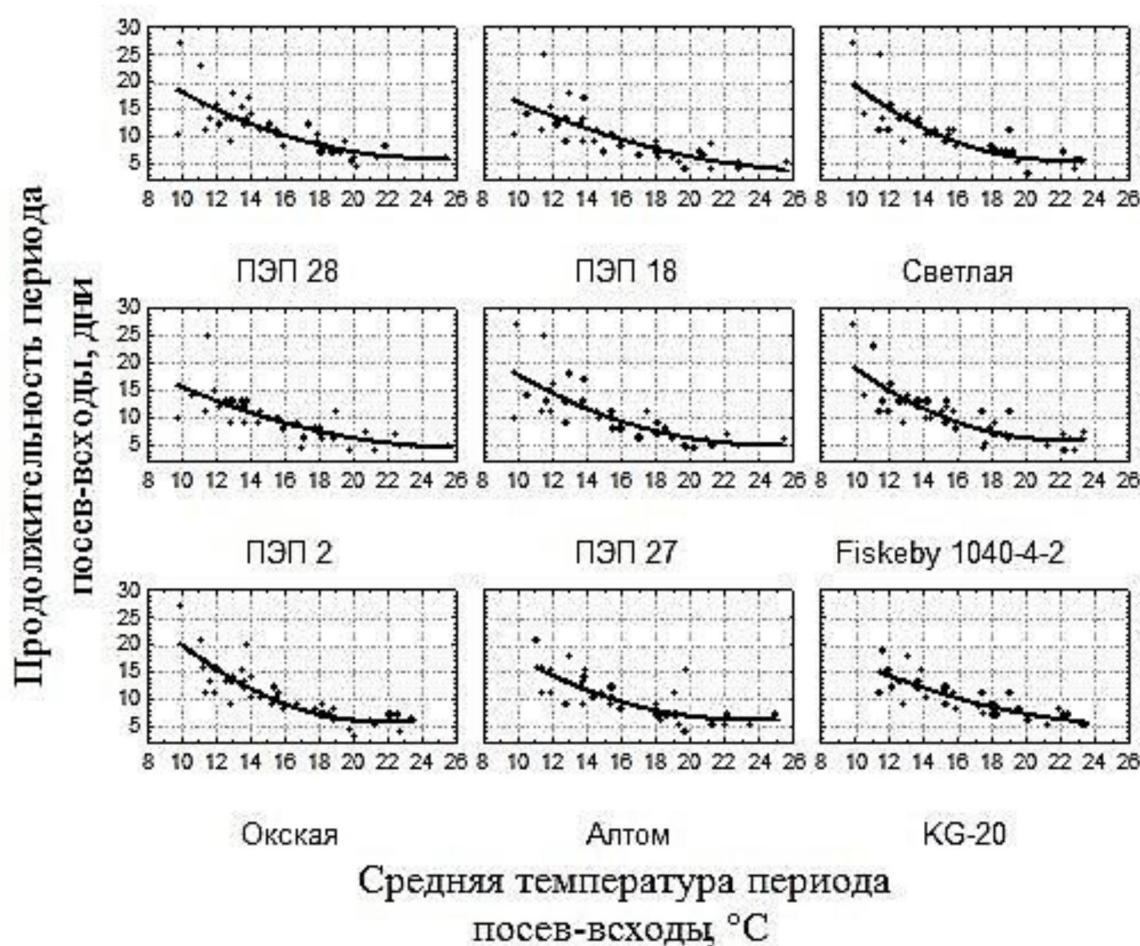


Рис. 1. Зависимость продолжительности периода посев-всходы образцов сои от средней за период температуры воздуха

Реакция на факторы среды периода посев-всходы была одинаковой у всех образцов (как отдельно по вариантам опыта, так и по всей совокупности наблюдений) (рис. 1). Ускорение появления проростков при увеличении

температуры на 1°C в интервале 10–19°C составляло от 1,4 до 1,0 дня, а в интервале 19–26°C практически отсутствовало, так как при температуре выше 19°C прорастание происходило за минимально возможное время (3–5 дней). Недостаток влаги замедлял появление всходов.

Продолжительность периода посев-всходы ($L_{п-в}$) в наибольшей степени коррелировала со средней температурой за этот период ($r = -0,73 \div -0,82$). Зависимость $L_{п-в}$ от температуры имела нелинейный характер и была аппроксимирована параболой, что достаточно обычно для такой связи (Подольский, 1974). Из характеристик увлажнения наибольшую связь с $L_{п-в}$ показало количество осадков за период пять дней до и после посева ($r = -0,38 \div -0,40$). По средним значениям показателей, рассчитанным по изученному набору образцов, была построена регрессионная модель зависимости $L_{п-в}$ от средней за период температуры ($T_{п-в}$) и осадков за период пять дней до и после посева ($P_{5п5}$):

$$L_{п-в} = 36,53 - 2,18T_{п-в} + 0,04T_{п-в}^2 - 0,80P_{5п5} \quad R^2 = 0,70$$

Здесь R^2 – коэффициент детерминации уравнения.

По формуле (1) был рассчитан температурный минимум периода посев-всходы (использованы данные опытов с $T_{п-в} \leq 19^\circ\text{C}$):

$$\Sigma T_{п-в} = 69,73 + 7,79L_{п-в} \quad R^2 = 0,81$$

Таким образом, биологический минимум температуры периода посев-всходы составил 7,8°C, а сумма эффективных температур – 69,7°C.

Нижним температурным пределом для нормального прорастания семян сои является температура около 10°C (Енкен, 1959; Клюка, 1990; Заостровных, Дубовицкая, 2003). Повышение температуры воздуха выше 20,6°C у одних сортов не приводило к сокращению периода посев-всходы (Енкен, 1959), а у других заметное ускорение прорастания происходило даже в интервале температур от 20 до 30°C (Delouche, 1953, цит. по Терентьева и др., 1984). Это указывает, что среди сортов культурной сои имеются различия по реакции на температуру на стадии прорастания. Полученные нами результаты позволяют считать, что все включенные в исследование образцы сои имеют низкие температурные потребности на этой стадии.

Всходы-цветение

По продолжительности периода всходы-цветение ($L_{в-ц}$) из изученного набора образцов можно выделить две группы, средние значения в которых достоверно не отличаются друг от друга, но отличаются от значений каждого образца другой группы. Через 35–37 дней после прорастания (в среднем) зацветают образцы ПЭП 28, ПЭП 18, ‘Светлая’, ПЭП 2. За больший промежуток времени, через 44–46 дней, зацветают ‘KG-20’ и ‘Алтом’. Промежуточное положение между выделенными группами занимают ПЭП 27, Fiskeby 1040-4-2, ‘Окская’, по продолжительности периода всходы-цветение достоверно не отличающиеся ни от одного образца (табл. 2).

Средняя температура периода всходы-цветение при весенних посевах варьировалась от 15 до 22°C и при более высоких температурах продолжительность периода всходы-цветение была меньше во всех вариантах опыта (рис. 2). При средних температурах 17–19°C все изученные образцы имели $L_{в-ц}$ 30–32 дня. При более высокой средней температуре (21–22°C) образцы Fiskeby 1040-4-2, KG-20, ПЭП 28 и сорта ‘Окская’ и ‘Светлая’ зацвели за более короткий период (24–28 дней), а остальные образцы заметно не ускорили переход к цветению.

Значение корреляции $L_{в-ц}$ со средней температурой за этот период различалось по образцам ($r = -0.30 \div -0.77$). Осадки больше 4 мм в сутки (в среднем за период) замедляли начало цветения.

В опытах по оценке фотопериодической чувствительности сои, проведенных в условиях Пушкинских лабораторий ВИР (Сеферова, Кошкин, 2004), при выращивании при коротком (12-ти часовом) световом дне образцы сои зацветали раньше, чем на естественном световом дне. Для образца KG 20 разница в продолжительности периода всходы-цветение составляла 7 дней, для ПЭП 27 и ПЭП 28 – 6 дней, а для ПЭП 18 и сорта ‘Светлая’ от 4 до 5 дней. В наших опытах с посевом во вторую половину лета ускорения развития с сокращением длины светового дня отмечено не было, что может объясняться тормозящим влиянием наблюдавшихся в начальный период роста избыточно высоких температур, что отмечалось и в работе В. Б. Енкена (1959).

По средним значениям показателей, рассчитанным по изученному набору образцов, была построена регрессионная модель варьирования $L_{в-ц}$ от средних характеристик тепло- и влагообеспеченности, в которой нашли отражение отмеченные особенности:

$$L_{в-ц} = 79,29 - 2,61T_{в-ц} + 0,02T_{в-ц}^2 + 0,43P_{в-ц} \quad R^2 = 0,50$$

Здесь $T_{в-ц}$ – средняя температура за период всходы-цветение; $P_{в-ц}$ – среднее количество осадков за сутки периода всходы-цветение.

По формуле (1) был рассчитан температурный минимум периода всходы-цветение. Для расчета использовали опыты, в которых продолжительность периода регулировалась в основном температурами, то есть средние за период температуры не превышали 19°C и количество осадков было меньше 4 мм в сутки:

$$\Sigma T_{в-ц} = 213,20 + 12,10L_{в-ц} \quad R^2 = 0,59$$

Таким образом, температурный минимум (в среднем для изученных образцов) составил 12,1°C, сумма эффективных температур 213,2°C. Значения температурных минимумов периодов посев-всходы и всходы-цветение в данном исследовании оказались выше, полученных ранее (Новикова и др., 2013), но являются более точными, так как из расчетов убраны высокие температуры, при которых продолжительность периодов не регулируется ростом температур.

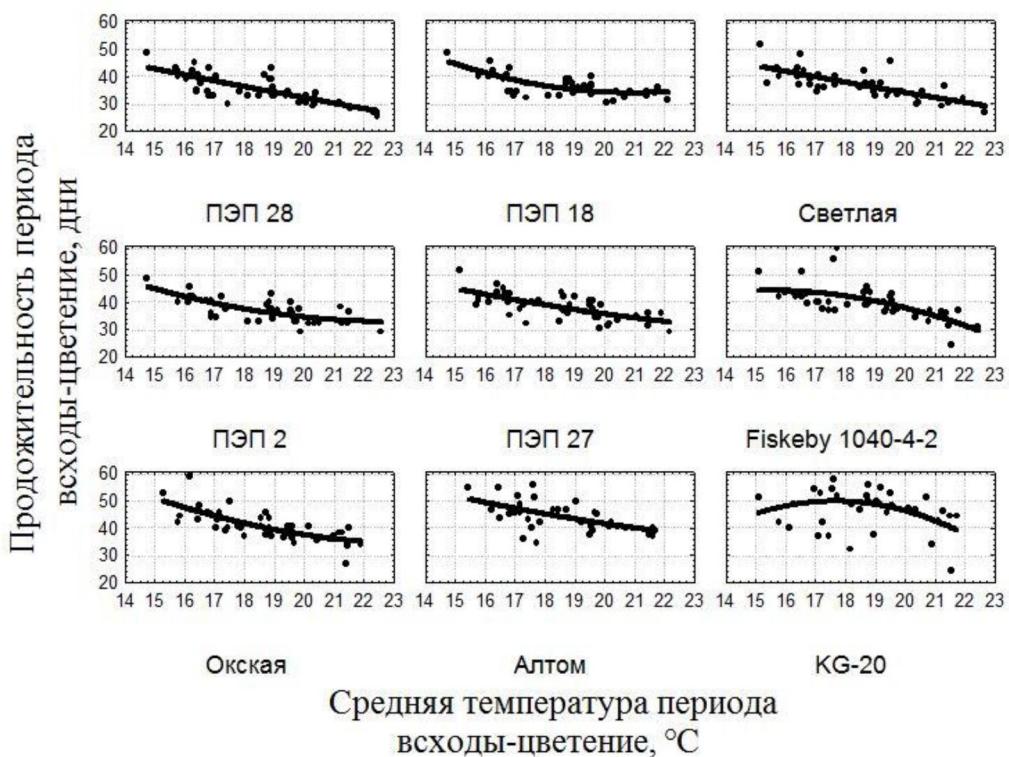


Рис. 2. Зависимость продолжительности периода всходы-цветение у образцов сои от средней за период температуры воздуха

По температурному минимуму и сумме эффективных температур, необходимых для начала цветения, образцы различались между собой. У рано зацветающих образцов (ПЭП 2, ПЭП 18, ПЭП 28, ‘Светлая’) температурный минимум колебался в интервале 9–11°C, а у зацветающих в более поздние сроки (KG-20, ‘Алтом’) – в интервале 13–15°C. Промежуточные значения температурного минимума (11–12°C) были выявлены у образцов ПЭП 27, Fiskeby 1040-4-2 и у сорта ‘Окская’. Корреляция между средней по опытам продолжительностью периода всходы-цветение образцов и температурным минимумом была высокой ($r = 0,84$).

Считается, что большинство сортов сои может цвести только при температуре выше 17°C, а отдельные, более холдоустойчивые формы, при 13–15°C (Степанова, 1972; Сичкарь, 1984). Указывается, что в интервале от этой температуры до 30°C и выше начало цветения ускоряется (Клюка, 1990; George Thomas et al., 1990; Gass et al., 1996; Wang et al., 1998). В наших опытах образцы зацветали при температурах от 11 до 29°C и достигали наименьшей продолжительности периода всходы-цветение уже при средних температурах от 19 до 21°C. Это показывает, что они в целом характеризуются низкой температурной требовательностью при прохождении вегетативной стадии.

Заключение

В условиях полевого опыта на Северо-Западе РФ главным фактором, регулирующим продолжительность периодов посев-всходы и всходы-цветение

скороспелых образцов сои, является средняя температура этих периодов. С ростом средней за период температуры от 9°C до 19°C продолжительность периодов посев-всходы и всходы-цветение сокращается. При более высоких температурах продолжительность периода посев-всходы становится постоянной у всех, а периода всходы-цветение – у большей части образцов. Выявлена высокая корреляция между рассчитанным температурным минимумом образцов и продолжительностью периода всходы-цветение.

Вторым по значимости фактором, определяющим продолжительность периодов посев-всходы и всходы-цветение, является количество осадков. Отсутствие осадков в период пяти дней до и после посева замедляет прорастание. Избыток осадков в период всходы-цветение (в среднем более 4 мм в сутки) задерживает начало цветения.

Литература

- Вишнякова М. А., Сеферова И. В., Мисюрина Т. В. Развитие идей Вавилова о расширении пределов земледелия на примере сои // Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы. II Вавиловская Международная конференция, 26-30 ноября 2007 г. Тезисы докладов. СПб., 2007. С. 11–13.*
- Вишнякова М. А., Сеферова И. В., Никишина М. А. Селекционная ценность экспериментальных популяций сои, адаптированных к условиям Северо-Запада РФ // Депонирована во ВНИИ информации и технико-экономических исследований АПК. № 61 ВС. 2002. 12 с.*
- Енкен В. Б. Соя. М., 1959. 622 с.*
- Заостровных В. И., Дубовицкая Л. К. Вредные организмы сои и система фитосанитарной оптимизации ее посевов. Новосибирск, 2003. 528 с.*
- Клюка В. И. Оптимизация температурного фактора для выращивания масличных растений в условиях фитотрона // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур им. В. С. Пустовойта Россельхозакадемии. 1990. Вып. 3. № 110. С. 35–40.*
- Мищенко З. А. Агроклиматология. Киев: изд. КНТ, 2009. 512 с.*
- Новикова Л. Ю., Любин В. Н., Лоскутов И. Г. и др. Анализ динамики хозяйственно ценных признаков сортов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Тр. по прикл. бот., ген. и сел. СПб., 2013. Т. 173. С. 102–119.*
- Подольский А. С. Фенологический прогноз (математический прогноз в экологии). 2-е изд., доп. и перераб. М., 1974. 287 с.*
- Сеферова И. В., Кошкин В. А. Зависимость скорости развития, высоты и семенной продуктивности сои от фотопериода // Годичное собрание общества физиологов растений России. Междунар. конф. «Проблемы физиологии растений Севера», Петрозаводск, 15–18 июня 2004 г. Тез. докл. Петрозаводск, 2004. С. 168.*
- Сеферова И. В., Мисюрина Т. В., Никишина М. А. Эколо-географическая оценка биологического потенциала скороспелых сортов и осеверение сои //*

- Сельскохозяйственная биология. Науч.-теорет. журн. Сер. «Биология растений». 2007. № 5. С. 42–47.
- Сичкарь В. И. О холодаустойчивости растений сои // Сельскохозяйственная биология. Науч.-теорет. журн. 1984. № 6. С. 11–15.
- Степанова В. М. Биоклиматология сои. Л., 1972. 123 с.
- Терентьева И. Н., Баранов В. Ф., Суэтов В. Ф. Требования к факторам жизни // Соя. М., 1984. С. 40–56.
- Шиголев А.А. Руководство для составления фенологических прогнозов (озимая рожь, озимая пшеница, яровая пшеница, плодовые культуры, древесные растения лесных насаждений). М.–Л., 1951. Вып. 15. 44 с.
- Щелко Л. Г. Соя // В кн.: Теоретические основы селекции. Генофонд и селекция зерновых бобовых культур. СПб., 1995. Т. 3. С. 196–322.
- Gass T., Schori A. et al. Cold tolerance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) during the reproductive phase // European Journal of Agronomy. 1996. V. 5. Issues 1–2. P. 71–88.
- George T., Bartholomew D. P., Singleton P. W. Effect of temperature and maturity group on phenology of field grown nodulating and nonnodulating soybean isolines // Biotronics: reports of Biotron Institute, Kyushu University. 1990. V. 19. P. 49–59.
- Wang Z., Reddy V. R. Short-term exposure to low temperature affects growth and development of soybean grown in increasing and decreasing daylengths // Biotronics: reports of Biotron Institute, Kyushu University. 1998. V. 27. P. 21–31.