

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЗЕРНА СОИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ

Ирина Михайловна Присяжная, кандидат технических наук
 Серафима Павловна Присяжная, доктор технических наук, профессор
 Евгения Михайловна Фокина, кандидат сельскохозяйственных наук
 ФГБНУ ФНИ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»,
 г. Благовещенск, Амурская обл., Россия
 E-mail: irenpris@mail.ru

Аннотация. В увеличении производства сои важная роль отводится снижению потерь семян от дробления, особенно при уборке урожая. Со стороны молотильных и транспортирующих устройств зерно сои подвержено динамическим ударным и зацемяющим нагрузкам. В статье приведены исследования статической и динамической прочности зерна сои более 20 сортов различного эколого-географического происхождения. Выявлены показатели линейных размеров сои по длине, ширине и толщине, величине коэффициента сферичности, массы 1000 семян, динамической и статической разрушающей нагрузки. Коэффициентом пропорциональности установлена связь между нормальным напряжением и деформацией, которая как модуль упругости сои характеризует сопротивляемость зерна деформации при сжатии. Наиболее устойчивые к статическим нагрузкам семена сортов Хонсю, Овощная, Журавушка, № 3-2014 J-35, Микавасима. При некотором допущении зерно сои всех сортов имеет форму шара, коэффициент сферичности изменяется от 0,931 до 0,755, модуль упругости и предел прочности по сортам при влажности 6,5% — от 290,71 до 132,02 кг/см², с увеличением влажности он уменьшается в 1,5–2,0 раза.

Ключевые слова: соя, зерно, влажность, сорт, масса 1000 семян, деформация, статическая, динамическая прочность, модуль упругости

STUDY OF THE STRENGTH OF SOYBEAN GRAINS OF VARIOUS VARIETIES

I.M. Prisyazhnaya, PhD in Engineering Sciences
 S.P. Prisyazhnaya, Grand PhD in Engineering Sciences, Professor
 E.M. Fokina, PhD in Agricultural Sciences
 FSBSI FRC «All-Russian Soybean Research Institute»,
 Blagoveshchensk, Amur region, Russia
 E-mail: irenpris@mail.ru

Abstract. In increase in production of soy the important part is assigned to decrease in losses of seeds from crushing, especially when harvesting. The variety of mechanical impacts from the molotilny and transporting devices on grain of soy is reduced to action of dynamic percussions and the jamming loadings. In selection process during creation of new grades of soy the heritability of signs of parental forms is widely used therefore it is very important to know strength characteristics of grain of soy on grades, their static and dynamic durability and to use these qualities during creation of new grades. The purpose of researches is to reveal the steadiest and less damaged soy grain grades at static loads for use of heritability of signs in selection process, to define the module of elasticity of grain of soy and critical crushing loads for decrease in damages during the cleaning and a side job. Researches of static and dynamic durability of grain of soy more than 20 grades of various environmental-geographical origin are given in article. Indicators of the linear sizes of soy of all studied grades on length, width and thickness, size of coefficient of sphericity, mass of 1000 seeds, dynamic and static crushing load are revealed. The coefficient of proportionality established connection between the normal tension and deformation which is the module of elasticity of soy and characterizes the resilience of grain of soy of elastic deformation at compression. Seeds of soy of grades of Honshu, Vegetable, the Crane, No. 3-2014 J-35, Mikavassima appeared the most resistant to static loads. At some assumption, grain of soy of all grades has the sphere form, the coefficient of sphericity changes from 0.931 to 0.755. The module of elasticity and strength of grain of soy on grades at humidity of 6.5% changes from 290.71 to 132.02 kg/cm² which with increase in humidity decreases by 1.5–2.0 times.

Keywords: soy, grain, humidity, a grade, weight is 1000 seeds, deformation, static, dynamic durability, the elasticity module

В Российской Федерации производство сои стабильно растет из-за расширения посевных площадей под культурой и повышения ее урожайности. [3, 4, 8, 9, 11, 13]

Технологии возделывания сои предусматривают использование современной техники. Применение инновационных технологий обеспечивает получение высокой урожайности. В увеличении производства сои важная роль отводится снижению прямых и косвенных потерь семян при посеве и уборке урожая. На их величину и характер оказывают механическое воздействие рабочие органы комбайнов, транспортирующих устройств и поточных линий при подработке се-

мян. Снижение механических повреждений от молотильных и транспортирующих устройств имеет такое же значение, как уменьшение прямых количественных (невозвратные) потерь урожая сои. [2, 5–7, 10, 12]

Рабочие органы комбайна и транспортирующих устройств поточных линий должны быть так спроектированы, чтобы наибольшее напряжение, возникающее в зерне при их работе, было меньше того, при котором оно разрушается. Чтобы выяснить допустимую величину напряжения для зерна сои опытным путем установлена зависимость между прочностью зерна, действующими на него усилиями и возникающими в нем остаточными деформациями.

Механическое состояние зерна сои характеризуется его статической и динамической прочностью, которые зависят от сорта, влажности, массы 1000 семян, формы, строения зерна и других факторов.

При нагрузках зерно сои из-за особенностей строения и химического состава подвергается упруго-пластическим деформациям. Они возникают в результате сжатия его при защемлении, а также соударении с рабочими органами машин.

На основе эмпирического закона упругие деформации в процессе динамического нагружения развиваются независимо от пластических. Основная гипотеза при учете местных деформаций при соударении рабочих органов с зерном состоит в том, что связь между контактным давлением и местным смятием при ударе такая же, как и в статических условиях. Исходное положение теории упругости заключается в допущении, что упругое состояние тела вблизи поверхности удара в течение всего удара близко к тому состоянию равновесия, которое возникало бы в обоих телах при медленном их сжатии. По известной теории контактных деформаций тел Герца, можно пренебречь колебаниями, возникающими в зерне при ударе, и предположить, что энергия этих колебаний чрезвычайно мала и тогда вся кинетическая энергия относительного движения зерна превращается в потенциальную энергию упругих деформаций. Общая сила удара, вызывающая эти деформации, определяется как сумма упругой и пластической его составляющей. Пластическая составляющая значительно меньше упругой – до 7% общей силы удара. [1] Учитывая только упругую составляющую, принимаем ее за полную силу динамического нагружения зерна. Напряжения, обеспечивающие сохранение формы и размеров зерна, должны быть ниже тех, при которых отмечается появление остаточных деформаций.

Цель работы – выявить наиболее устойчивые и менее повреждаемые сорта сои при статических нагрузках для использования наследуемости признаков в селекционном процессе, определить модуль упругости зерна и критические разрушающие нагрузки для снижения повреждений при уборке и обработке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект изучения прочности – зерно сои дальневосточных и западных сортов (Краснодарский край и Курская область), а также иностранной селекции из КНР, Франции, Канады, Японии и США, имеющих различное эколого-географическое происхождение, но выращенных в Амурской области (ВНИИ сои) в 2021 году. Они различаются по продолжительности периода вегетации и делятся согласно классификации принятой в регионе на группы: скороспелая (96...104 дня) – *Лидия (st)*, *Сентябринка*, *Статная*, *Магева*, *СК Русса*, *Микавасима*, *McCall*; среднеспелая (105...114 дней) – *Даурия (st)*, *Пепелина*, *Журавушка*, *Чародейка*, *Овощная*, *Лидер 10*, *Chico*; позднеспелая (115...125 дней) – *Алена (st)*, *Kioto*, *Кофу*, *Каната*, *Хонсю*, *РЖТ Спуда*, № 3–2014 J 35. Обмолот производили вручную. Масса 1000 зерен всех изучаемых сортов – 100,8...322,4 г, длина – 6,21...9,31 мм, ширина – 5,74...8,49, толщина –

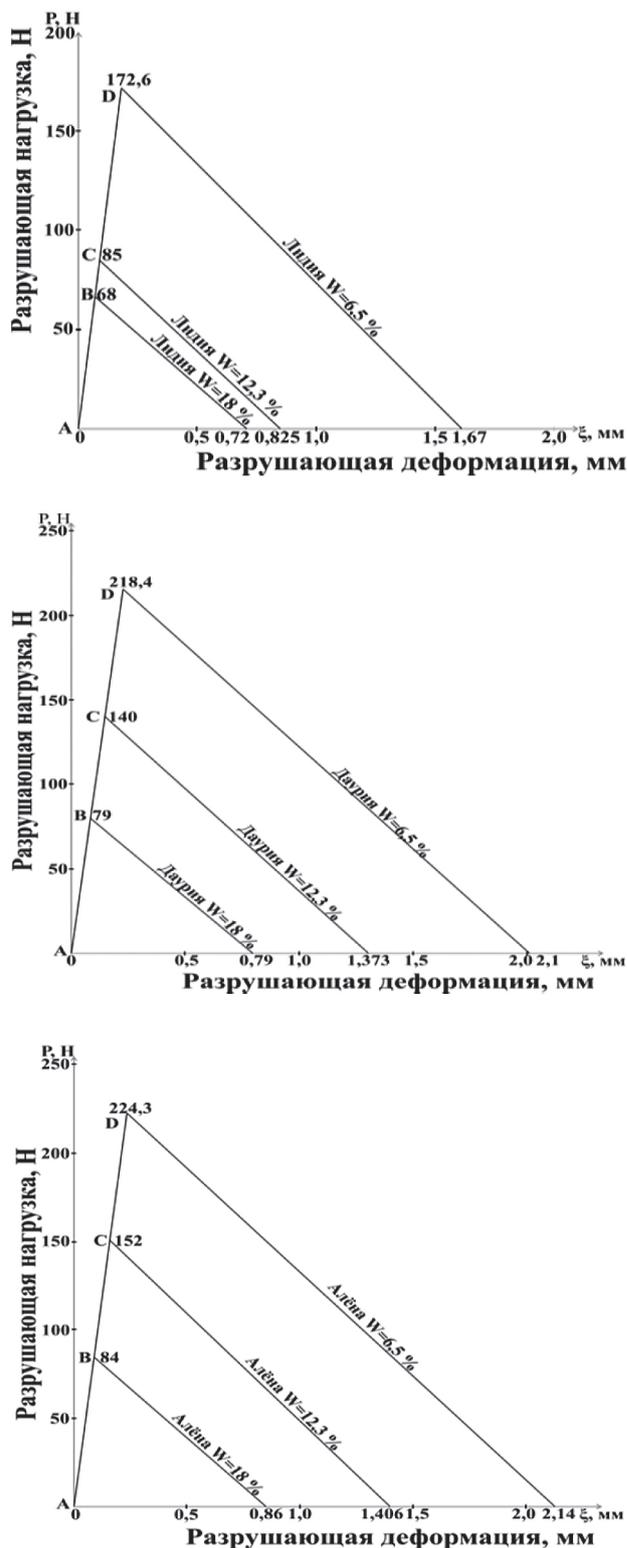


Рис. 1. Диаграммы сжатия зерна сои. Отрезок ABCD соответствует влажности 6,5%, AC – 12,3, AB – 18%.

7,46...4,25 мм. При некотором допущении зерно сои всех сортов имеет форму шара, коэффициент сферичности изменяется от 0,931 до 0,755.

Исследовали зерно сои кондиционной влажности (12,3%), сухое (6,5) и переувлажненное (18%). Для статической деформации сжатия использовали динамометр ДОСМ-3-0,05 с пределом измерения до 500 Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 представлены диаграммы сжатия зерна трех сортов сои (*Лидия*, *Даурия*, *Алена*) при различных параметрах влажности, характеризующих статическую прочность.

У сухого зерна сои (6,5%), а также кондиционной (12,3) и повышенной влажности (18%) четко выражен предел пропорциональности (отрезок ABCD), который совпадает с пределом статической прочности зерна. До момента появления трещины (точки В, С и D) деформации зерна растут прямо пропорционально нагрузкам. У зерна влажностью 18 и 12,3% трещина оболочки появляется при меньшей статической нагрузке (точки В и С).

Устойчивость зерна сои к механическим повреждениям имеет сортовые особенности и обусловлена массой зерна, линейной размерностью и шаровидной формой, представленной коэффициентом сферичности.

Статическая нагрузка, приложенная к зерну при сжатии его между плоскими стальными поверхностями в перпендикулярном направлении к плоскости разъема семядолей, разрушающая зерно влажностью 6,5%, составила в среднем по изучаемым сортам от 130,3 до 290,2 Н (табл. 1).

Зерно сои мелкой фракции разрушалось при значительно меньшей нагрузке, чем средней и крупной. Наиболее устойчивые к статическим нагрузкам сорта: *Хонсю*, *Овощная*, *Журавушка*, № 3-2014 J-35, *Микавасима*.

Разрушение зерна сои влажностью 18 и 12,3% происходит при меньшей деформации, для раннеспелого сорта *Лидия* – 0,72...0,825 мм, среднеспелого *Даурия* – 0,79...1,373, позднеспелого *Алена* – 0,86...1,406 мм. Статическая нагрузка разрушающая зерно сои (влажность – 18 и 12,3%) сорта *Лидия* – 68...85 Н, *Даурия* – 79...140, *Алена* – 84...152 Н. При снижении влажности зерна до 6,5% разрушение происходит при больших деформациях, превышающих кондиционную влажность в 1,5 раза и соответственно больших нагрузках (табл. 2).

Между массой зерна крупной, средней и мелкой фракции и устойчивостью к статической деформации (ξ, мм) коэффициент вариации изменяется от значительного до среднего. У сортов *Лидия*, *Даурия*, *Алена* он составил – 22,0...14,1%, 17,7...14,0, 13,3...8,94% соответственно (табл. 3).

Нагрузка, нарушающая пропорциональность между ее приращением и относительным сжатием (деформация) зерна сои, соответствует пределу пропорциональности. Модуль упругости зерна при сжатии – коэффициент пропорциональности E, связывающий нормальное напряжение и относительное удлинение. Физически он характеризует сопротивляемость упругой деформации. Точки В, С и D (рис. 1) следует считать пределом упругости и началом разрушения оболочки зерна при разной влажности. По результатам опытов, на основе закона Гука, определили величину модуля упругости зерна сои (табл. 4).

Модуль упругости и предел прочности зерна сои по сортам при влажности 6,5% изменяется от 290,71 до 132,02 кг/см², с увеличением влажности он уменьшается в 1,5...2,0 раза.

Таблица 1. Деформация и разрушающая статическая нагрузка единичных зерен сои различных сортов при влажности зерна 6,5%

Сорт	Страна (оригинатор)	Масса 1000 семян, г	Коэффициент сферичности	Деформация, мм	Разрушающая статическая нагрузка, Н
<i>Журавушка</i>	ВНИИ сои	211,6	0,832	2,65	271,43,89
№3-2014 J-35	КНР	271,1	0,900	2,55	265,5
<i>Овощная</i>		322,4	0,793	2,74	285,3
<i>Хонсю</i>	Япония	281,0	0,888	2,80	290,2
<i>Микавасима</i>		305,6	0,931	2,60	269,4
<i>Чародейка</i>	ВНИИ сои	229,4	0,875	2,04	214,5
<i>АД-3 Магева</i>	Россия	246,6	0,898	2,16	226,2
<i>Каната</i>	Канада	169,1	0,856	2,23	235,1
<i>Киото</i>		173,7	0,824	2,25	238,1
<i>Алена</i>		168,5	0,943	2,21	224,3
<i>Даурия</i>	ВНИИ сои	179,0	0,851	2,06	215,48
<i>Пепелина</i>		161,3	0,908	2,01	205,3
<i>Кофу</i>	Канада	154,2	0,844	1,85	198,7
<i>Сентябринка</i>	ВНИИ сои	165,5	0,919	1,68	175,7
<i>Статная</i>		139,6	0,896	1,81	190,7
<i>РЖТ Спида</i>	Франция	119,2	0,800	2,33	235,2
<i>Лидер – 10</i>	Курская обл	116,6	0,755	1,76	180,8
<i>Лидия</i>	ВНИИ сои	146,3	0,847	1,67	172,6
<i>Сhico</i>	США	107,1	0,853	1,54	150,8
<i>СК Руса</i>	Краснодарский край	113,5	0,873	1,35	142,4
<i>McCall</i>	США	100,8	0,828	100,8	130,3±2,8

Таблица 2. Изменение разрушающей статической нагрузки единичного зерна ранне-, средне- и позднеспелых сортов сои при разной влажности

Сорт	Влажность, %								
	6,5			12,3			18		
	коэффициент сферичности	относительная деформация, мм	разрушающая нагрузка, Н	коэффициент сферичности	относительная деформация, мм	разрушающая нагрузка, Н	коэффициент сферичности	относительная деформация, мм	разрушающая нагрузка, Н
<i>Лидия</i>	0,847	0,801	0,746	1,67	0,825	0,72	172,6	85	68
<i>Даурия</i>	0,876	0,866	0,801	2,10	1,373	0,79	215,4	140	791,7
<i>Алена</i>	0,943	0,917	0,854	2,14	1,406	0,86	224,3	152	84

Таблица 3. Статическая деформация разрушения зерна сои по фракциям

Сорт	Средняя ξ, мм	Крупная фракция			Средняя фракция			Мелкая фракция		
		масса	ξ, мм	V %	масса	ξ, мм	V %	масса	ξ, мм	V %
		<i>Лидия</i>	1,67	169,2	1,4	22,0	144,1	1,4	24,7	119,8
<i>Даурия</i>	2,06	235,2	1,82	17,7	178,2	1,74	22,0	143,5	1,22	14,0
<i>Алена</i>	2,21	212,6	2,08	13,3	171,4	1,72	12,8	131,0	1,41	8,94

От влажности зерна сои существенно зависит его механическая повреждаемость. При свободном соударении зерен сои сорта *Лидия* с металлической поверхностью (скорость удара до 20 м/с) менее всего

Таблица 4.

Модуль упругости зерна сои различных сортов

Сорт	Толщина семян сои, мм	Разрушающая нагрузка, кг	Модуль упругости, кг/см ²
Журавушка	6,12	27,64	280,41
№3-2014 J-35	6,79	26,75	271,23
Овощная	6,41	28,63	290,71
Хонсю	6,91	29,02	294,22
Микавасима	7,46	26,94	272,94
Чародейка	6,39	21,45	217,32
АД-3 Магева	6,42	22,62	229,18
Каната	5,88	23,51	238,19
Киото	5,62	23,81	241,23
Алена	6,09	22,43	224,25
Даурия	5,54	21,54	215,41
Пепелина	5,91	23,53	238,39
Кофу	5,47	19,87	201,32
Сентябринка	6,12	18,57	188,15
Статная	5,51	19,07	193,21
РЖТ Спида	4,83	24,52	248,43
Лидер – 10	4,25	17,58	178,11
Лидия	5,34	17,26	172,63
Chico	4,79	14,88	150,76
СК Руса	5,11	14,44	146,31
McCall	4,52	13,03	132,02

подвержено разрушению (36%) зерно повышенной влажности, сухое повреждается полностью (100%), кондиционной влажности – 78% (рис. 2).

Смещение порога дробления в сторону больших скоростей и снижение механического повреждения при увеличении влажности объясняется тем, что хрупкое состояние зерна характеризуется большим модулем упругости и малыми разрушающими деформациями. Зерно в таком состоянии менее устойчиво к динамическим нагрузкам, чем зерно большей влажности (пластичное), потому что с увеличением модуля упругости максимальная сила удара увеличивается.

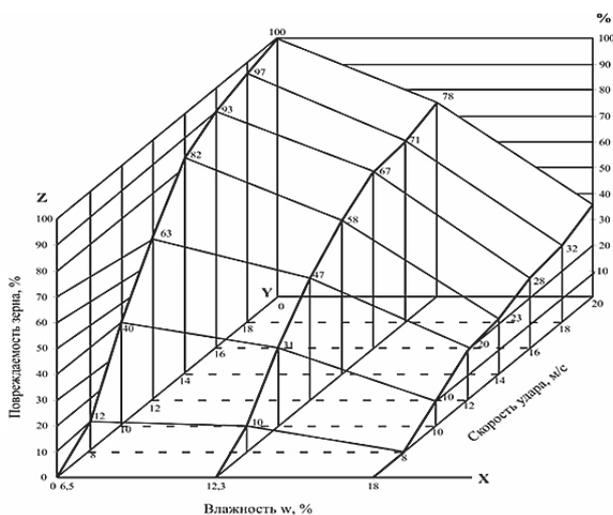


Рис. 2. Повреждение зерна сои сорта Лидия при соударении со стальной поверхностью

Благодаря малым разрушающим деформациям, величина площади контакта уменьшается, и одновременно увеличивается удельное контактное давление. С его ростом возрастает напряжение в зоне контакта, определяющее степень повреждаемости зерна.

Чем пластичнее зерно, тем ниже общая сила удара, больше площадь контакта и меньше напряженность материала в его зоне. Поэтому нагрузки критические для сухого зерна не всегда могут вызвать повреждение влажного.

Таким образом, сортовая устойчивость зерна сои к статическим нагрузкам и механическим повреждениям имеет особенности и обусловлена массой, линейной размерностью и шаровидной формой, представленной коэффициентом сферичности. Разрушение зерна с большей влажностью (18...20%) происходит при малых (0,72...0,86 мм) деформациях и меньших разрушающих нагрузках (68...84 Н). При снижении влажности зерна до 6,5%, его разрушение происходит при больших деформациях и нагрузках, превышающих кондиционную влажность в 1,5...2,0 раза.

В результате проведенных исследований выявлено, что наиболее устойчивое к статическим нагрузкам зерно сои сортов Хонсю, Овощная, Журавушка, № 3–2014 J–35, Микавасима.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айзикович С.М., Александров В.М., Белоконов А.В. и др. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред. М.: Физматлит, 2006. 240 с.
2. Вашенко А.П. и др. Соя на Дальнем Востоке / под науч. ред. А.К. Чайка; Россельхозакадемия, ДВ РНЦ, Приморский НИИСХ. Владивосток: Дальнаука, 2014. 435 с.
3. Катюк А.И., Зуев Е.В., Анисимкина Н.В. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции сои в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / Масличные культуры. Науч.-технич. бюлл. ВНИИ масличных культур. 2016. Вып. 3 (167). С. 22–26.
4. Кочегура А.В., Щегольков А.В., Зима Д.Е. Селекция сортов сои разных направлений использования для регионов России // АПК NEWS. 2018. № 8. С. 16–19.
5. Кузьмин А., Наумченко Е.Т., Никульчев Т.А. и др. 100 вопросов и ответов о возделывании сои (рекомендации для руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий) / под общей ред. М.О. Синеговского. ООО «Одеон», 2021. 79 с.
6. Лусас Э.В., Ки Чун Ри / Руководство по переработке и использованию сои: пер. с англ. В.В. Ключкина, М.Л. Доморощенковой. М.: Колос, 1998. 48 с.
7. Малашонок А.А., Синеговский М.О. Моделирование и прогнозирование урожайности сои в Амурской области // Достижение науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 8. С. 90–92.
8. Синеговская В.Т., Фокина Е.М. Селекция сои как инструмент решения задач импортозамещения в Дальневосточном федеральном округе // Труды кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 328–331.
9. Система земледелия Амурской области / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, проф. Тихончука П.В. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2016. 570 с.
10. Технологии возделывания сои / РосАгроХим, ГНУ ВНИИ сои, ГНУ ДальНИИМЭСХ. М. 2010. 46 с.

11. Тильба В.А., Синеговская В.Т., Фоменко Н.Д. Технология возделывания сои в Амурской области: методические рекомендации. Благовещенск. 2009. 72 с.
 12. Фокина Е.М., Беляева Г.Н., Синеговский М.О. и др. Каталог сортов сои / под общей редакцией академика РАН В.Т. Синеговской // ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН». 2021. 69 с.
 13. Фокина Е.М., Беляева Г.Н., Титов С.А. Новые сорта сои для дальневосточного региона // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 3(55). С. 68–75. <http://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-13035>
- REFERENCES**
1. Ajzikovich S.M., Aleksandrov V.M., Belokon' A.V. i dr. Kontaktnye zadachi teorii uprugosti dlya neodnorodnyh sred. M.: Fizmatlit, 2006. 240 s.
 2. Vashchenko A.P. i dr. Soya na Dal'nem Vostoke / pod nauch. red. A.K. Chajka; Rossel'hoz akademiya, DV RNC, Primorskij NIISKH. Vladivostok: Dal'nauka, 2014. 435 s.
 3. Katyuk A.I., Zuev E.V., Anisimkina N.V. Istochniki hozyajstvenno cennyh priznakov dlya selekcii soi v usloviyah le-sostepnoj zony Srednego Povolzh'ya / Maslichnye kul'tury. Nauch.-tekhnich. byull. VNIИ maslichnyh kul'tur. 2016. Выр. 3 (167). S. 22–26.
 4. Kochegura A.V., Shchegol'kov A.V., Zima D.E. Selekcija sortov soi raznyh napravlenij ispol'zovaniya dlya regionov Rossii // APK NEWS. 2018. № 8. S. 16–19.
 5. Kuz'min A., Naumchenko E.T., Nikul'chev T.A. i dr. 100 voprosov i otvetov o vzdelyvanii soi (rekommendacii dlya rukovoditelej i specialistov sel'skohozyajstvennyh predpriyatij) / pod obshej red. M.O. Sinegovskogo. ООО «Odeon», 2021. 79 s.
 6. Lusas E.V., Ki Chun Ri / Rukovodstvo po pererabotke i ispol'zovaniyu soi: per. s angl. V.V. Klyuchkina, M.L. Domoroshchenkovej. M.: Kolos, 1998. 48 s.
 7. Malashonok A.A., Sinegovskij M.O. Modelirovanie i prognozirovanie urozhajnosti soi v Amurskoj oblasti // Dostizhenie nauki i tekhniki APK. 2017. T. 31. № 8. S. 90–92.
 8. Sinegovskaya V.T., Fokina E.M. Selekcija soi kak instrument resheniya zadach importozameshcheniya v Dal'nevostochnom federal'nom okruge // Trudy kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 72. S. 328–331.
 9. Sistema zemledeliya Amurskoj oblasti / pod obsch. red. d-ra s.-h. nauk, prof. Tihonchuka P.V. Blagoveshchensk: Izd-vo Dal'nevostochnogo GAU, 2016. 570 s.
 10. Tekhnologii vzdelyvaniya soi / RosAgroHim, GNU VNIИ soi, GNU Dal'NIIMESKH. M. 2010. 46 s.
 11. Til'ba V.A., Sinegovskaya V.T., Fomenko N.D. Tekhnologiya vzdelyvaniya soi v Amurskoj oblasti: metodicheskie rekomendacii. Blagoveshchensk. 2009. 72 s.
 12. Fokina E.M., Belyaeva G.N., Sinegovskij M.O. i dr. Katalog sortov soi / pod obshej redakciej akademika RAN V.T. Sinegovskoj // FGBNU FNC VNIИ soi. Blagoveshchensk: ООО «ИПК «ОДЕОН». 2021. 69 с.
 13. Fokina E.M., Belyaeva G.N., Titov S.A. Novye sorta soi dlya dal'nevostochnogo regiona // Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. 2020. № 3(55). S. 68–75. <http://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-13035>