

**ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕЗОСТРУКТУРА
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА НОВОГО СОРТА СОИ СФЕРА**

E.S. Butovets, L.M. Lukyanchuk, O.L. Burundukova

**DESCRIPTIVE CHARACTERISTICS AND MESOSTRUCTURE OF
PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF A NEW VARIETY OF SOY SPHERE**

Бутовец Е.С. – канд. с.-х. наук, науч. сотр., и. о. зав. лаб. селекции сои Приморского НИИ сельского хозяйства, г. Уссурийск. E-mail: otelsoy@mail.ru

Лукьянчук Л.М. – мл. науч. сотр. лаб. селекции сои Приморского НИИ сельского хозяйства, г. Уссурийск. E-mail: otelsoy@mail.ru

Бурундукова О.Л. – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. клеточной биологии и биологии развития ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: burundukova.olga@gmail.com

Butovets E.S. – Cand. Agr. Sci., Staff Scientist, Acting Head, Lab. of Soy Selection, Primorsky Research and Development Institute of Agriculture, Ussuriisk. E-mail: otelsoy@mail.ru

Lukyanchuk L.M. – Junior Staff Scientist, Lab. of Soy Selection, Primorsky Research and Development Institute of Agriculture, Ussuriisk. E-mail: otelsoy@mail.ru

Burundukova O.L. – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Cellular Biology and Biology of Development of FRC of Biodiversity of Land Biota, Eastern Asia FEB RAS, Vladivostok. E-mail: burundukova.olga@gmail.com

Цель исследования – выявить структурно-функциональные перестройки растений сои и фотосинтетического аппарата в процессе современной селекции в Приморском крае. Авторским коллективом лаборатории селекции сои ФГБНУ «Приморский НИИСХ» выведен новый высокоурожайный сорт – Сфера. Были проведены сравнительные исследования урожайности и мезоструктуры фотосинтетического аппарата нового приморского сорта сои Сфера и американского сорта Ходсон. Исследования проводились на экспериментальных полях ФГБНУ «Приморский НИИСХ», расположенных вблизи г. Уссурийска. Сою выращивали в соответствии с принятой для Приморского края агротехникой. Уборка делеков осуществлялась комбайном «Сампо»-130. По величине средних значений урожая зерна за четыре года наблюдений сорта Сфера и Ходсон не различались, при этом в благоприятные годы урожайность незначительно выше была у сорта Ходсон, в неблагоприятные годы – выше у сорта Сфера на 0,4–1,1 ц/га. Проведенный анализ ведущих признаков структуры продуктивности сои показал, что у Сферы в менее благоприятный сезон 2017 г. наблюдали большее количество бобов и семян на растении, более высокую массу 1000 семян и массу семян с растения. Сфера превосходила Ходсон по характеристикам мезоструктуры фотосинтетического аппарата: толщине и удельной поверхностной плотности листа, объему клеток палисадной паренхимы. Сфера отличается большей высотой прикрепле-

ния нижних бобов, следовательно, существенно превосходит Ходсон по технологичности и адаптированности к условиям Приморья. Таким образом, сорт сои Сфера по продуктивности и морфофункциональным характеристикам фотосинтетического аппарата не уступает, а по ряду признаков и превосходит сорт Ходсон. Сфера является перспективным сортом для возделывания в Приморье, а также для использования в селекции в качестве донора признаков, обеспечивающих высокие фотосинтетические способности ассимиляционного аппарата растения.

Ключевые слова: сорт сои Сфера, продуктивность, мезоструктура, Приморский край.

The purpose of the research was to reveal structurally functional reorganizations of plants of soy and photosynthetic device in the course of modern selection in Primorsky Region. In the Laboratory of Soybean Selection at FSBSI "Primorsky Scientific Research Institute of Agriculture" new high yielding variety Sphere was developed. Comparative researches of productivity and mesostructure of photosynthetic device of a new seaside variety of soy Sphere and American variety Hodson were conducted. The researches were conducted on experimental fields of FSBSI "Primorsky Scientific Research Institute of Agriculture" near Ussuriysk. Soy was grown up according to the agrotechnology accepted for Primorsky Region. Cleaning of allotments was carried out by combine Sampo-130. In the size of average values of grain yield in four years of supervision of the va-

riety Sphere and Hodson did not differ, thus in favorable years the productivity was slightly higher in the variety Hodson, in unfavorable years – Sphere on 0.4–1.1 c/hectare was higher in the variety. Carried-out analysis of leading signs of structure of the efficiency of soy showed that in Sphere during less favorable season of 2017 bigger quantity of beans and seeds on a plant, higher mass of 1000 seeds and the mass of seeds from a plant were observed. The sphere surpassed Hodson in characteristics of mesostructure of photosynthetic device: to thickness and specific area the density of a leaf, the volume of palisade parenchyma cells. The variety Sphere differs in bigger height of the attachment of lower beans, therefore, Hodson significantly surpasses in technological effectiveness and adaptedness to the conditions of Primorye. Thus, soybean variety Sphere doesn't give way to Hodson in productivity and morphofunctional characteristics of photosynthetic apparatus and in a number of signs it surpasses the variety Hodson. Sphere is a perspective variety for cultivation in Primorye, and also for using in selection as the donor of the signs providing high photosynthetic abilities of assimilatory plant device.

Keywords: soybean variety Sphere, productivity, mesostructure, Primorsky Region.

Введение. В современном мировом растениеводстве соя относится к числу главных белково-масличных культур. В процессе селекции урожайность сои удалось существенно увеличить. Урожай сортов, выведенных в Китае и США за несколько десятков лет вырос в 2-3 раза [1, 2]. Сравнительные исследования больших наборов старых и новых сортов сои в Китае, Канаде и США выявили положительную корреляцию между урожаем и фотосинтезом, что открывает перспективы использования фотосинтетических признаков для дальнейшего увеличения урожайности сои [3, 1, 2].

На Дальнем Востоке России соя культивируется в Приморском крае, Амурской области, Хабаровском крае, ЕАО и является одной из ведущих культур [4]. В настоящее время в крае активно возделываются новые высокоурожайные сорта сои селекции Приморского НИИСХ и районированный по Дальневосточной зоне сорт американского происхождения Ходсон. В 90-е гг. среди сортов среднеранней группы спелости сорт Ходсон превосходил по урожайности основной местный сорт сои Приморская 494 на 1,8–2,4 ц/га [5]. Проведенные сравнительные физиологические исследования продукционного процесса сортов приморского и американского происхождения показали, что сорт Ходсон отличался наибольшей площадью листьев и продолжительностью их активной жизнедеятельности, оптимальной ориентацией листьев в посеве и высокими потенциа-

ными ассимиляционными способностями фотосинтетического аппарата [6]. Известно, что параметры мезоструктуры листа в значительной степени определяют его фотосинтетическую активность [7]. Сорт Ходсон существенно превосходил сорта приморской селекции по таким параметрам мезоструктуры фотосинтетического аппарата, как удельная поверхностная плотность листа (УППЛ), число клеток мезофилла и число хлоропластов в расчете на единицу площади листа [6].

Цель исследования: выявить структурно-функциональные перестройки растений сои и фотосинтетического аппарата в процессе современной селекции в Приморском крае.

Авторским коллективом лаборатории селекции сои ФГБНУ «Приморский НИИСХ» за последние годы выведен ряд новых высокоурожайных сортов сои, хорошо адаптированных к возделыванию в условиях муссонного климата Приморского края [8]. Один из них – Сфера. В 2016 г. он внесен в реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по 12-му региону Российской Федерации. Получен патент на селекционное достижение № 8562.

В задачу исследования входило проведение сравнительных исследований урожайности и мезоструктуры фотосинтетического аппарата нового приморского сорта сои Сфера и американского сорта Ходсон.

Условия, объекты и методы исследования. Исследование выполнялось на экспериментальных полях ФГБНУ «Приморский НИИСХ», расположенных вблизи г. Уссурийска. Данный район характеризуется как наиболее теплый, влажный, с суровой зимой. Сумма активных температур (выше 10 °С) колеблется в пределах 2400–2600 °С. Гидротермический коэффициент (ГТК) – 1,6–2,0 (ГТК 1,0 характеризует крайне недостаточные условия увлажнения, ГТК 2,0 – избыточные).

Гидротермический коэффициент характеризует усредненное состояние термовлагообеспеченности территории в год проведения опытов. Погодные условия 2017 г. резко отличались от среднемноголетней нормы (рис. 1). Преобладали периоды избыточного увлажнения, в отдельные декады показатели ГТК были ниже 1, но растения в эти периоды не испытывали недостатка влаги благодаря обильному количеству осадков, выпавших в предыдущие декады месяца. Гидротермические условия 2017 г. способствовали реализации генетического потенциала продуктивности сои, несмотря на обильные осадки во второй половине лета (июль-август), когда начинается период цветения и налива бобов. Растения смогли сформировать полноценные продуктивные завязи бобов, что позитивно отразилось на урожайности сортов.

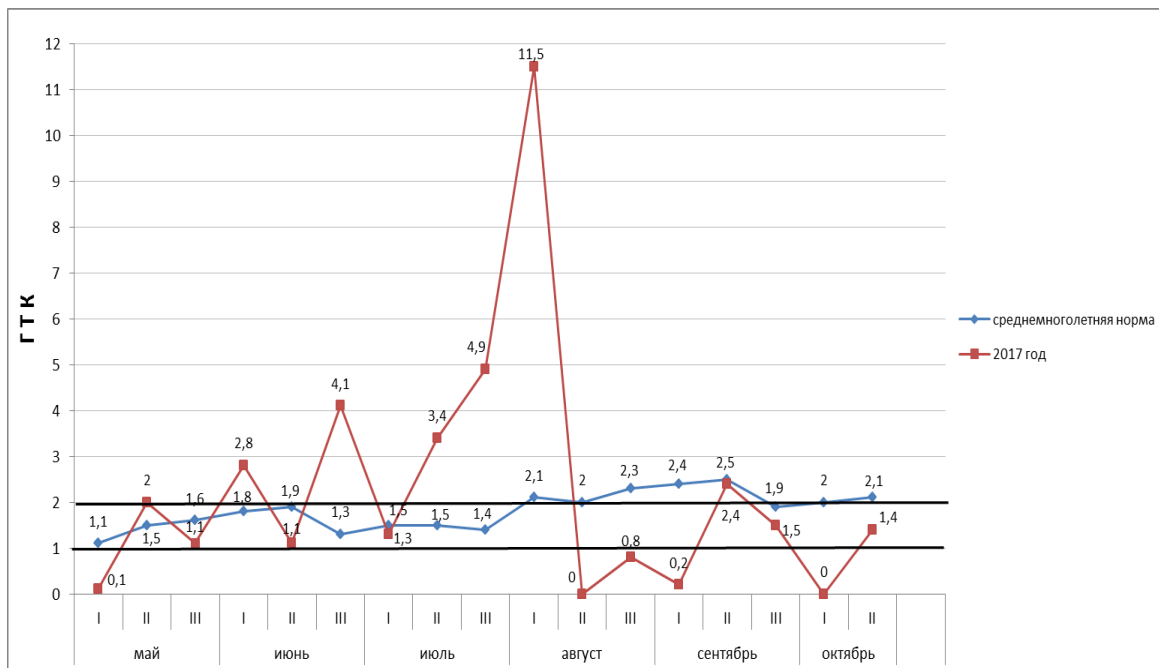


Рис. 1. Гидротермический коэффициент в год проведения исследований по декадам (по данным агрометеостанции «Тимирязевский»)

Почва опытного участка – лугово-бурая отбеленная с тяжелым механическим составом.

Соя выращивалась в соответствии с принятой для Приморского края агротехникой [9]. Оценку продуктивности, учеты по основным хозяйственно ценным признакам, описание и фенологические наблюдения проводили согласно методическим указаниям ВНИИР в течение всего периода вегетации сои [10]. Проведена биометрия растений сои по следующим количественным признакам: высота растения и прикрепления нижнего боба, количество бобов, количество и масса семян с одного растения, масса 1000 семян, число продуктивных ветвей, толщина стебля. Уборка урожая осуществлялась комбайном Сампо 130.

Мезоструктурный анализ. Листья сортов сои Ходсон и Сфера были отобраны в производственных посевах в 07.08.2017 г. в период массового цветения. Мезоструктуру фотосинтетического аппарата определяли согласно [11]. Вырезки из средней части листьев фиксировали в 3,5 %-м глутаровом альдегиде, приготовленном на фосфатном буфере (рН – 7,0). Подсчет количества хлоропластов в клетках мезофилла проводили на давленных препаратах в 30 клетках мацерата листьев, приготовленного на водяной бане кратковременным нагреванием (15–20 мин) дисков листьев в 5 %-м растворе оксида хрома в 1 N. HCl при температуре 60–70 °C. Подсчет количества клеток в единице площади листа проводили в камере Горяева, диски листьев мацерировали в 50 %-м КОН при кратковременном кипячении. Досто-

верность различий оценивали по критерию Манна – Уитни.

Исследования частично выполнены с использованием оборудования ЦКП «Микротехническая лаборатория Ботанического сада-института ДВО РАН».

Объектами изучения были американский сорт Ходсон и приморский Сфера. Сорт Сфера относится к средней группе спелости (119–121 дня). Морфологические особенности сорта: растения среднерослые (70–75 см), толщина стебля – 0,5–0,6 см. Детерминантный тип роста. Распределение бобов – равномерное в средней и верхней частях растения. Образовывает от 55 до 84 шт. (65 %) 3- и 4-семянных бобов на растении, в продуктивном узле – от 6 до 9 бобов. Эта способность в большей степени реализуется в разреженных посевах. Характеристика семян: форма шаровидная, окраска зерна желтая, рубчик светлый (рис. 2). Масса 1000 семян – 180–190 г. Содержание масла в семенах 21,9–22,8 %, белка – 37,4–38,1 %. Создан сорт Сфера в результате гибридизации отдаленных в географическом и экологическом отношении родительских форм. Сорт обладает высоким иммунитетом и толерантностью к основным грибным заболеваниям Дальневосточного региона. Компактный габитус куста, высокое прикрепление бобов, повышенная продуктивность и качество продукции позволяют широко использовать его как на пищевые цели, так и на корм животным.



Рис. 2. Растение (а), бобы и семена (б) сорта сои Сфера

Сорт Ходсон относится к маньчжурскому подви- ду, разновидности мах, апробационной группе *immaculata*. Период вегетации – 116–119 дней. Рас- тения средней высоты (65–80 см), толщина стебля – 0,4–0,5 см. Растения маловетвистые – 1–3 стебля на растение. Окраска цветка – фиолетовая, опушение стебля светлое и редкое, бобы слабоизогнутые с темно-серым оттенком. Отмечается растрескивание бобов. Семена желтые, овальные, рубчик коричне- вый. Масса 1000 зерен – 160–190 г. Поражение бо- лезнями и вредителями среднее.

Результаты исследования и их обсуждение

Производственные характеристики. Средняя уро- жайность изучаемых сортов сои по результатам че- тырех сезонов наблюдений находится относительно на одном уровне значений (табл. 1). В благоприят- ные годы по погодным условиям урожай сорта Ход-

сон был незначительно выше, чем у Сферы, на 0,3– 0,4 ц/га, в неблагоприятные годы урожайность Сфе- ры была на 0,4–1,1 ц/га выше, чем у Ходсона. Спо- собность сорта Сфера в неблагоприятных погодных условиях формировать более высокий урожай семян свидетельствует о ее лучшей адаптированности к муссонному климату Приморья. Проведенный ана- лиз ведущих признаков структуры продуктивности сои показал, что у Сферы в менее благоприятный сезон 2017 г. наблюдали большее количество бобов и семян на растении, более высокую массу 1000 семян (табл. 1, 2). Количество ветвей у сорта Ходсон больше (3,5 шт. на растение), при этом продуктив- ность в сравнении с сортом Сфера меньше, потому как у Сферы формируется большее количество бо- бов в продуктивном узле на главном стебле.

Таблица 1

Урожайность сортов сои, 2014–2017 гг.

Сорт сои	Урожайность, ц/га					Масса 1000 се- мян, г	Период веге- тации, дней
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя		
Ходсон	23,5	28,4	26,0	23,3	25,3	155	116
Сфера	23,9	28,0	25,7	24,4	25,5	175	115

Пригодность сортов сои к механизированной уборке определяется высотой растения и высотой прикрепления нижних бобов. Достаточной высотой растения при уборке сои комбайном можно считать 70 см. От высоты прикрепления нижнего боба зависят потери урожая, причем изменчивость признака только на 28 % определяется наследственными

факторами, а остальное зависит от природно-климатических и агротехнических условий возделывания. У приморского сорта сои Сфера показатели по данному признаку значительно выше американского сорта Ходсон (табл. 2). Таким образом, Сфера существенно превосходит Ходсон по технологичности, адаптированности к местным условиям.

Таблица 2

Характеристика сортов сои по признакам продуктивности, 2017 г.

Сорт сои	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Толщина стебля, см	Количество ветвей на одном растении, шт.	Число бобов на одном растении, шт.	Число семян на одном растении, шт.	Масса семян с растения (продуктивность), г
Ходсон	73,9	8,9	0,5	3,5	22,4	63,5	8,3
Сфера	80,3	13,3	0,6	1,7	37,9	89,4	12,5

Мезоструктура фотосинтетического аппарата. Лист сои имеет дорсовентральный тип строения мезофилла. Мезофилл состоит из 2-3 слоев столбчатой паренхимы и 2 слоев губчатой паренхимы. Структурно-функциональные характеристики листа приведены в таблице 3. Площадь тройчатосложного листа сорта Сфера меньше, чем у сорта Ходсон, но при этом лист толще, выше его удельная поверхностная плотность, лучше развита столбчатая паренхима. Объем клеток столбчатой паренхимы у сорта Сфера был выше, чем у Ходсона, в то время как число пластид в клетках мезофилла и число пластид в расчете на единицу площади листа было пример-

но одинаковым. Данный показатель у старых приморских сортов сои был на 20–25 % ниже, чем у Ходсона [6]. Содержание пластид в листе имеет большое значение для определения потенциальной фотосинтетической способности листа. Исследования, выполненные на большой выборке диких видов, примитивных и высокопродуктивных селекционных сортов картофеля, показали, что селекционный процесс не изменил фотосинтетическую активность хлоропластов, и во многих случаях повышение фотосинтеза происходит вследствие увеличения числа пластид [7].

Таблица 3

Мезоструктура фотосинтетического аппарата сортов сои Сфера и Ходсон (дата сбора растительного материала – 07.08.2017 г.)

Параметр	Ходсон	Сфера	Достоверность различий
Площадь тройчатосложного листа, см ²	115±6	100±5	< 0,05
Толщина листа, мкм	179±4	188±5	< 0,05
Толщина мезофилла, мкм	145±3	155±4	< 0,05
Толщина столбчатого мезофилла, мкм	79±5	92±3	< 0,05
УППЛ, мг/см ²	5,4±0,4	6,5±0,5	< 0,05
Число хлоропластов в клетках столбчатой паренхимы, шт.	22,9±0,6	23,2±0,5	н.д.
Объем клеток столбчатой паренхимы, мкм ³ ·10 ³ .	3,7±0,03	4,6±0,04	< 0,05
Количество хлоропластов в единице площади листа ×10 ⁵	25,6± 2	25,9±1,5	н.д.

Примечание: приведены средние значения и стандартная ошибка среднего; н.д. – не достоверно; достоверность различий оценивали по критерию Мана – Уитни.

Выводы. Таким образом, сорт сои Сфера по продуктивности и морфофункциональным характеристикам фотосинтетического аппарата не уступает и по ряду признаков превосходит сорт Ходсон. Сфера является перспективным сортом для возделыва-

ния в Приморье, а также для использования в селекции в качестве донора признаков, обеспечивающих высокие фотосинтетические способности ассимиляционного аппарата растения.

Литература

1. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. / J. Jin [et al.] // *Field Crops Research*. – 2010. – Т. 115. – № 1. – С. 116–123.
2. Changes in physiological traits in soybean with breeding advancements / N.R. Keep [et. al.] // *Crop Science*. – 2016. – Т. 56. – № 1. – С. 122–131.
3. Morrison M.J., Voldeng H.D., Cober E.R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada // *Agronomy Journal*. – 1999. – Т. 91. – № 4. – С. 685–689.
4. Соя на Дальнем Востоке / А.П. Ващенко [и др.]; науч. ред. А.К. Чайка; Россельхозакадемия, ДВ РНЦ, Примор. НИИСХ. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 435 с.
5. Федеров Ю.Н., Лопатникова Т.К. Новые сорта сельскохозяйственных культур для Приморского края // Пути повышения продуктивности растениеводства, кормопроизводства, садоводства на Дальнем Востоке. – Владивосток: Дальнаука, 1987. – С. 141–148.
6. Подбор сортов сои для посева в июне на юге Приморья / И.П. Холупенко [и др.] // Защита растений на Дальнем Востоке. – Владивосток: Дальнаука, 1989. – С. 75–80.
7. Мокронос А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. – М: Наука, 1981. – 196 с.
8. Бутовец Е.С. Адаптивный потенциал новых сортов сои приморской селекции // Современные технологии и техническое обеспечение производства и переработки сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / ФАНО, РАН, ДальНИИМЭСХ. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2016. – С. 103–114.
9. Адаптивные и прогрессивные технологии возделывания сои и кукурузы на Дальнем Востоке: метод. рекомендации / А.К. Чайка, В.А. Тильба, А.А. Моисеенко [и др.]. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 139 с.
10. Соя: метод. указания по селекции и семеноводству / сост. Н.И. Корсаков, Ю.П. Мякушко. – Л.: Изд-во ВИР, 1975. – 159 с.
11. Мокронос А.Т., Борзенкова Р.А. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – СПб., 1978. – Т. 61. – С. 119–133.

Literatura

1. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. / J. Jin [et al.] // *Field Crops Research*. – 2010. – Т. 115. – № 1. – С. 116–123.
2. Changes in physiological traits in soybean with breeding advancements / N.R. Keep [et. al.] // *Crop Science*. – 2016. – Т. 56. – № 1. – С. 122–131.
3. Morrison M.J., Voldeng H.D., Cober E.R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada // *Agronomy Journal*. – 1999. – Т. 91. – № 4. – С. 685–689.
4. Soja na Dal'nem Vostoke / A.P. Vashhenko [i dr.]; nauch. red. A.K. Chajka; Rossel'hozakademija, DV RNC, Primor. NIISH. – Vladivostok: Dal'nauka, 2010. – 435 s.
5. Federov Ju.N., Lopatnikova T.K. Novye sorta sel'skhozjajstvennyh kul'tur dlja Primorskogo kraja // Puti povysheniya produktivnosti rastenievodstva, kormoproizvodstva, sadovodstva na Dal'nem Vostoke. – Vladivostok: Dal'nauka, 1987. – S. 141–148.
6. Podbor sortov soi dlja poseva v ijune na juge Primor'ja / I.P. Holupenko [i dr.] // Zashhita rastenij na Dal'nem Vostoke. – Vladivostok: Dal'nauka, 1989. – С. 75–80.
7. Mokronosov A.T. Ontogeneticheskij aspekt fotosinteza. – M: Nauka, 1981. – 196 s.
8. Butovec E.S. Adaptivnyj potencial novyh sortov soi primorskoj selekcii // Sovremennye tehnologii i tehicheskoe obespechenie proizvodstva i pererabotki sel'skhozjajstvennyh kul'tur: sb. nauch. tr. / FANO, RAN, Dal'NIIMeSH. – Blagoveshensk: Izd-vo Dal'GAU, 2016. – S. 103–114.
9. Adaptivnye i progressivnye tehnologii vzdelyvanija soi i kukuruzy na Dal'nem Vostoke: metod. rekomendacii / A.K. Chajka, V.A. Til'ba, A.A. Moiseenko [i dr.]. – Vladivostok: Dal'nauka, 2009. – 139 s.
10. Soja: metod. ukazaniya po selekcii i semenovodstvu / sost. N.I. Korsakov, Ju.P. Mjakushko. – L.: Izd-vo VIR, 1975. – 159 s.
11. Mokronosov A.T., Borzenkova R.A. Metodika kolichestvennoj ocenki struktury i funkcional'noj aktivnosti fotosintezirujushhih tkanej // Tr. po prikl. botanike, genetike i selekcii. – SPb., 1978. – T. 61. – S. 119–133.