

DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-41-49

УДК635.655.581.1

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОРТОВ СОИ СЕВЕРНОГО ЭКОТИПА, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ЦЧР

**Е.В. ГОЛОВИНА**, доктор сельскохозяйственных наук,

ORCID. 0000-0002-7012-8267.

E-mail: kat782010@mail.ru

ФГБНУ «ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР»

*Фотосинтез, в процессе которого образуются органические соединения, определяет продуктивность растений. Структурная организация фотосинтетического аппарата способна к саморегуляции и адаптивным перестройкам в соответствии с меняющимися условиями внешней среды. Цель наших исследований состояла в изучении особенностей формирования фотосинтетического аппарата сортов сои северного экотипа в контрастных погодных условиях ЦЧР.*

*В 2017-2019 гг. изучены сорта сои Зуша, Красивая Меча, Ланцетная, Мезенка, Свапа, Осмонь, Шатиловская 17, линии Л-216 и Л-85 селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК. В многолетних исследованиях (2005-2012 гг. и 2017-2019 гг.) испытаны сорта Ланцетная, Свапа и с 2009 г. Красивая Меча. В фазы бутонизации и налива бобов осуществлялись учет надземной массы, расчет площади листьев, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза, в полную спелость – урожаем зерна.*

*В умеренные годы (ГТК 1,3-1,4) фотосинтетическая система сои работает наиболее продуктивно, развивая ассимиляционную поверхность до 90 тыс. м<sup>2</sup>/га с укороченным периодом функционирования, что способствует оптимальному распределению пластических веществ между вегетативными и генеративными органами и формированию высокой зерновой продуктивности (2,5 т/га). Во влажные годы увеличивается длина и масса стебля, что отрицательно сказывается на урожае зерна (2,1 т/га). В засушливые годы фотосинтетический аппарат сои обеспечивает получение урожая зерна 1,8 т/га. Таким образом, в контрастных по влагообеспеченности и температурному режиму погодных условиях листовой аппарат сортов сои, реализуя способность к саморегуляции, способствует формированию зерновой продуктивности на уровне 1,8-2,5 т/га.*

*Линия Л-85, отличающаяся высокими значениями фотосинтетических показателей, сформировала максимальную урожайность сухого вещества 12,3 т/га и зерна 2,8 т/га в среднем за 3 года. Установлена положительная корреляция на среднем и высоком уровне в засушливые годы – между урожаем зерна и площадью листьев и ФП; во все годы исследований – между урожаем надземной массы и площадью листьев и ФП.*

**Ключевые слова:** соя, фотосинтетическая деятельность, погодные условия, продуктивность.

## PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF NORTHERN ECOTYPE SOYBEAN VARIETIES CULTIVATED UNDER THE CONDITIONS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

**E.V. Golovina**, ORCID. 0000-0002-7012-8267.

E-mail: kat782010@mail.ru

FSBSI «FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS»

**Abstract:** *Photosynthesis, during which organic compounds are formed, determines the productivity of plants. Structural organization of photosynthetic apparatus is capable of self-regulation and adaptive rearrangements in accordance with changing environmental conditions.*

*The purpose of our research was to study the peculiarities of formation of photosynthetic apparatus of soybean varieties of the northern ecotype in contrasting weather conditions of Central Black Earth Region.*

*In 2017-2019 studied soybean varieties Zusha, Krasivaya Mecha, Lantsetnaya, Mezenka, Svapa, Osmon', Shatilovskaya 17, lines L-216 and L-85 bred by Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops. In long-term studies (2005-2012 and 2017-2019), the varieties Lantsetnaya, Svapa and, since 2009, Krasivaya Mecha have been tested. In the phases of budding and filling of beans, the aboveground weight was counted, the leaf area, photosynthetic potential, net productivity of photosynthesis were calculated, in full ripeness - the grain yield.*

*In temperate years (hydrothermal coefficient 1.3-1.4) the soybean photosynthetic system works most productively, developing an assimilation surface up to 90 thousand m<sup>2</sup>/ha with a shortened period of functioning, which contributes to the optimal distribution of plastic substances between vegetative and generative organs and the formation of high grain productivity (2.5 t/ha). In wet years, the length and weight of the stem increases, which negatively affects the grain yield (2,1 t/ha). In dry years, the soybean photosynthetic apparatus provides a grain yield of 1.8 t/ha. Thus, in contrasting weather conditions in terms of moisture availability and temperature, the leaf apparatus of soybean varieties, realizing the ability to self-regulation, contributes to the formation of grain productivity at the level of 1.8-2.5 t/ha.*

*Line L-85, characterized by high values of photosynthetic indicators (PI), formed the maximum yield of dry matter 12.3 t/ha and grain 2.8 t/ha on average over 3 years. There is a positive correlation on average and high levels in dry years - between the grain harvest and the leaf area and PI; In all years of research - between the harvest of the above-ground mass and the area of leaves and PI.*

**Keywords:** soybeans, photosynthetic activity, weather conditions, productivity.

#### **Введение**

К числу биологических процессов, имеющих глобальное влияние на гео- и биосферу, относится фотосинтез. Площадь листьев характеризует фотосинтетическую деятельность растений. Это динамичный признак, непрерывно меняющийся в ходе вегетации растений, оптимальная величина ее является решающим фактором урожайности растений [1]. Размеры фотосинтетического аппарата в совокупности с эффективным использованием продуктов фотосинтеза определяют фотосинтетическую продуктивность отдельных растений и фитоценозов в целом [2]. Оптимальный размер листовой поверхности в ценозе варьирует в пределах 3-5 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> посева [3, 4]. Повышение площади листьев до 6,0 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> приводит к снижению интенсивности фотосинтеза, однако при этом повышается эффективность фотосинтеза и поглощение ФАР единицей посева. Селекция на увеличение площади листьев при достижении определенного оптимального уровня становится нецелесообразной [5].

Современные представления об основных принципах и путях повышения урожайности сельскохозяйственных растений базируются на теории фотосинтетической продуктивности. В нашей стране ее разработкой занимались А.А. Ничипорович, Х.Г. Тооминг, М.И. Зеленский, А.Т. Мокроносов, А.Л. Курсанов, и др. В основе продуктивности лежит фотосинтез как накопитель энергии и первоисточник органических субстратов. Оптимизация регулируемых факторов фотосинтетической деятельности позволяет влиять на производственный процесс в целом, на размер и качество урожая. Производственный процесс является сложной и интегрированной функцией растений, основу которой составляют генетически детерминированные процессы роста и морфогенеза. Их субстратное и энергетическое обеспечение определяется метаболической активностью клетки, ткани, органа, организма, т.е. в производственном процессе участвуют механизмы всех уровней организации.

Фотосинтез и структурная организация фотосинтетического аппарата обладают присущими любым биологическим системам фундаментальными свойствами – способностью к самонастраиванию, саморегуляции и к адаптивным перестройкам в

соответствии с внутренними потребностями организма и меняющимися условиями внешней среды [6].

Способность фотосинтетической системы адаптироваться к меняющимся условиям освещенности, влагообеспеченности, температуры, наличия в почве макро- и микроэлементов, густоты посева, согласуясь с энергетикой, ростом и морфогенезом растительного организма, определяет продуктивность фитоценоза.

Возделывание сои в ЦЧР в производственных масштабах обусловлено созданием сортов северного экотипа, с нейтральной реакцией на фотопериод, адаптированных к климатическим условиям региона [7, 8, 9, 10]. Нами впервые проведены многолетние обобщающие исследования фотосинтетической деятельности новых сортов сои, которые включались в опыты по мере их появления.

Цель исследований состояла в изучении особенностей формирования фотосинтетического аппарата сортов сои северного экотипа в контрастных погодных условиях в связи с продуктивностью.

#### Материалы и методы исследований

В 2017-2019 гг. в полевых условиях изучены сорта сои Зуша, Красивая Меча, Ланцетная, Мезенка, Свапа, Осмонь, Шатиловская 17, линии Л-216 и Л-85 селекции ФНЦ ЗБК. В многолетних исследованиях (2005-2012 гг. и 2017-2019 гг.) испытаны сорта Ланцетная, Свапа и с 2009 г. Красивая Меча. Семена сои обрабатывали перед посевом штаммом ризобий 6346. Норма высева 600 тыс. всхожих семян/га, площадь делянки 9,4 м<sup>2</sup>, повторность 4-кратная, расположение делянок рендомизированное. Отбор проб для анализа проводился в фазы бутонизации и налива бобов; осуществлялись учет надземной массы, расчет площади листьев, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза [11].

Годы исследований различались по погодным условиям (табл. 1). 2017 год характеризовался температурой ниже среднемноголетней на 2-3°C и повышенным увлажнением в период всходы-бутонизация, когда количество осадков превышало среднемноголетние на 60%, ГТК = 1,9. Погодные условия 2018 г. и 2019 г. отличались отклонениями от нормы значений температуры и влажности в течение вегетации. В 2018-2019 гг. во время цветения температура была выше нормы на 3-4°C, осадков выпало 30% нормы. В 2018 г. фазы начало плодообразования и налив бобов протекали в благоприятных условиях для сои: температура выше нормы на 3-4°C, влагообеспеченность достаточная. 2018 год в целом теплый, слабо засушливый: сумма эффективных температур за вегетационный период превышает среднемноголетнюю на 352°C, ГТК = 1,1. В 2019 г. в период плодообразования отмечался недостаток тепла, а в налив бобов – избыток влаги, что отрицательно сказалось на формировании плодов. 2019 год достаточно влагообеспеченный, ГТК = 1,7. Погодные условия 2005-2012 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Агрометеорологические условия, г. Орел

Показатели	Месяцы					$\sum t \geq 10^\circ\text{C}$	ГТК= $\frac{\sum_{\text{осадков}} \times 10}{\sum_{\text{эффект. tt}}}$
	май	июнь	июль	август	сентябрь		
Средняя температура воздуха за месяц, °С							
Средняя многолетняя	13,8	16,8	18,0	17,0	11,7		
2005 г.	16,1	16,0	19,3	18,8	14,8	1844,3	1,7
2006 г.	13,1	18,5	18,1	18,6	13,1	1713,1	2,5
2007 г.	16,5	18,6	19,2	21,4	13,0	1933,5	1,1
2008 г.	12,9	16,5	19,5	17,2	13,0	1828,0	1,8
2009 г.	13,7	18,8	19,8	16,5	15,2	1855,1	1,3
2010 г.	17,2	21,0	25,4	24,0	13,7	2176,4	0,6
2011 г.	15,6	19,4	22,1	18,3	12,6	1952,2	2,0

Продолжение табл. 1							
2012 г.	16,8	17,6	21,3	18,8	13,8	1922,0	1,4
2017 г.	12,6	15,8	18,1	19,9	13,7	1929,1	1,9
2018 г.	17,0	18,0	20,4	19,8	16,0	2121,3	1,0
2019 г.	16,1	20,7	17,3	17,2	12,8	1927,1	1,7
Количество осадков за месяц, мм						Σосадков, мм	
Среднее многолетнее	51,0	73,0	81,0	63,0	67,0		
2005 г.	38,9	107,9	72,9	4,8	15,5	304,1	
2006 г.	41,5	156,2	55,6	151,9	59,2	427,4	
2007 г.	24,4	38,0	63,4	19,4	62,5	224,4	
2008 г.	30,9	54,6	131,0	33,9	43,8	334,4	
2009 г.	36,9	82,0	56,3	28,9	39,9	231,1	
2010 г.	43,8	31,9	19,8	25,3	62,7	146,2	
2011 г.	27,2	64,5	143,7	126,8	40,1	393,8	
2012 г.	15,9	93,6	59,5	70,5	27,3	276,0	
2017 г.	54,0	59,8	142,2	87,2	16,0	366,0	
2018 г.	31,9	16,1	109,0	16,5	41,5	239,9	
2019 г.	105,9	37,6	85,9	37,8	43,9	334,6	

### Результаты исследований

По данным многолетних исследований у сортов Красивая Меча, Ланцетная, Свапа в засушливые годы (ГТК 0,6-1,2) в налив бобов площадь листьев в среднем составила 36 тыс. м<sup>2</sup>/га, в умеренные годы (ГТК 1,3-1,4) – 90 тыс. м<sup>2</sup>/га, во влажные годы (ГТК 1,7-2,5) – 62,6 тыс. м<sup>2</sup>/га (рис. 1). В годы с высокой влагообеспеченностью развитие стебля более интенсивное, чем в умеренные и засушливые: длина стебля выше на 17-19 см, сухая масса стебля – на 1,3-1,5 г/растение. В умеренные годы ассимиляционные потоки в большей степени направлены на развитие фотосинтетической поверхности.

Максимальный ФП 1342 тыс. м<sup>2</sup> x сут./га за период бутонизация – налив бобов отмечен во влажные годы (рис. 2). В связи с сокращением в засушливые годы площади листьев, а в засушливые и умеренные годы – продолжительности фаз развития и соответственно времени функционирования фотосинтезирующей поверхности на 4-5 суток, ФП в этих условиях ниже на 15%.

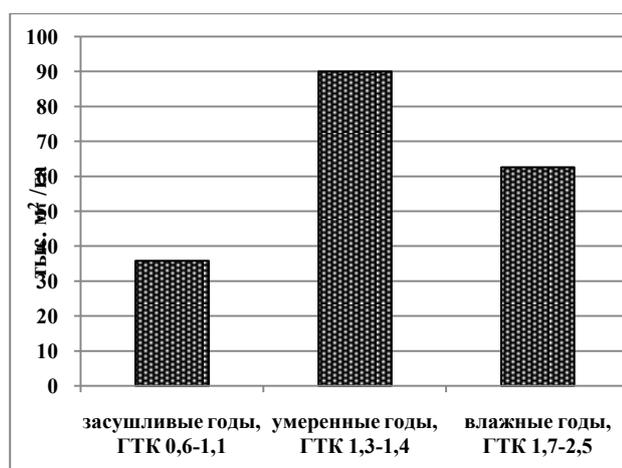


Рис. 1. Площадь листьев сортов сои Ланцетная, Свапа и Красивая Меча, налив бобов

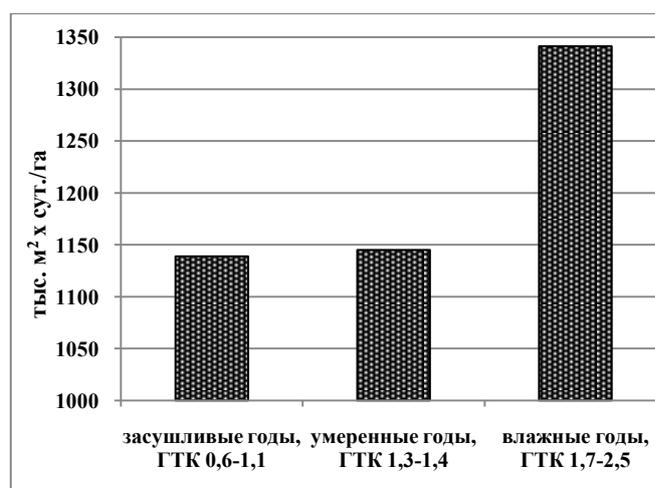


Рис.2. Фотосинтетический потенциал сортов сои Ланцетная, Свапа и Красивая Меча, бутонизация – налив бобов

Фотосинтезирующая система наиболее продуктивно работала в умеренные годы. ЧПФ в этих условиях составила  $5,2 \text{ г/м}^2 \times \text{сут.}$ , во влажные годы –  $5,1 \text{ г/м}^2 \times \text{сут.}$ , в засушливые –  $4,1 \text{ г/м}^2 \times \text{сут.}$  (рис. 3).

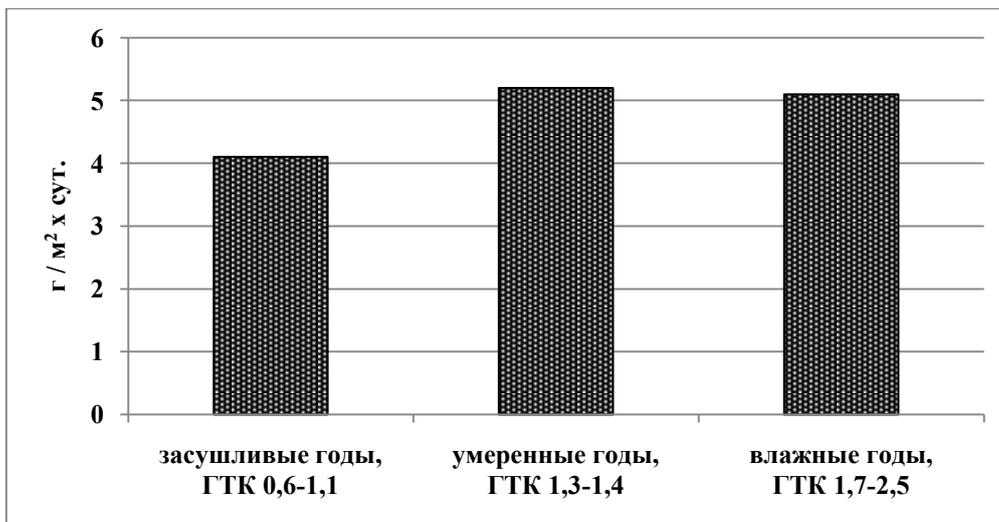


Рис. 3. Чистая продуктивность фотосинтеза сортов сои Ланцетная, Свапа и Красивая Меча, налив бобов

Урожай надземной массы во влажные годы равен в среднем  $10,2 \text{ т/га}$ , что на 22-26% выше, чем в умеренные и засушливые годы (рис. 4). В умеренные годы зерновая продуктивность выше, чем во влажных и засушливых условиях на 16% и 28% соответственно и достигает  $2,5 \text{ т/га}$  (в засушливые годы –  $1,8 \text{ т/га}$ ; во влажные –  $2,1 \text{ т/га}$ ) (рис. 5).

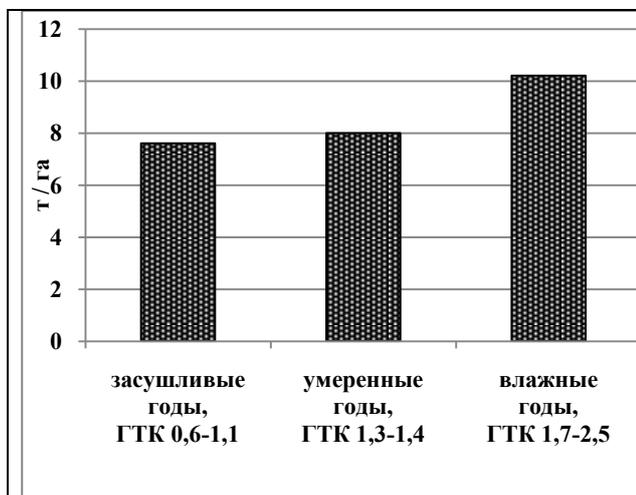


Рис. 4. Урожай сухой надземной массы сортов сои Ланцетная, Свапа и Красивая Меча

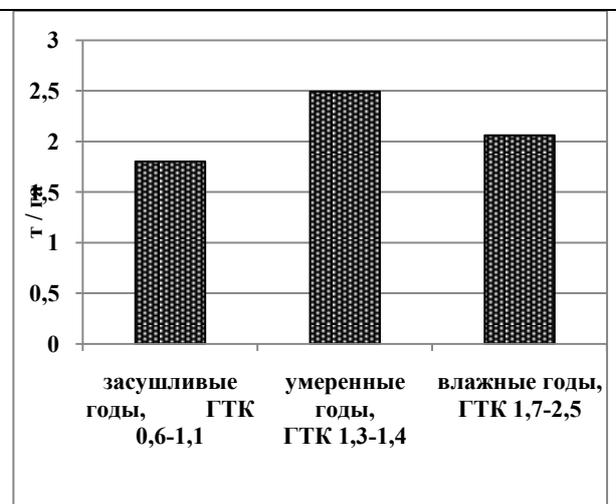


Рис. 5. Урожай зерна сортов сои Ланцетная, Свапа и Красивая Меча

Таким образом, в умеренные годы соя развивает значительную фотосинтетическую поверхность листьев (до  $90 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$ ), период работы которой на 4-5 суток короче, чем во влажные годы, что позволяет оптимально распределять пластические вещества между вегетативными и генеративными органами и формировать высокую зерновую продуктивность. Во влажные годы увеличивается высота и масса стебля, что отрицательно сказывается на урожае зерна.

В засушливые годы установлена корреляционная зависимость между урожаем зерна и площадью листьев на уровне  $r=0,649-0,873$ , между урожаем зерна и ФП – на уровне  $r=0,657-0,682$ . Практически во все годы исследований между урожаем надземной массы и площадью листьев и ФП наблюдалась взаимосвязь на среднем и высоком уровне  $r=0,550-0,971$ .

В 2017-2019 гг. в опыт по изучению фотосинтетической деятельности включены новые сорта и линии сои Зуша, Мезенка, Осмонь, Шатиловская 17, Л-216, Л-85.

Посев представляет собой оптическую систему, в которой листья в процессе фотосинтеза усваивают энергию солнечной радиации в области ФАР (380-720 нм). В начальные фазы развития, когда ассимиляционная поверхность мала, значительная часть ФАР не используется. С увеличением площади листьев возрастает и поглощение ими энергии солнца. Когда индекс листовой поверхности составляет 5-6, т.е. площадь листьев в посеве равна 50-60 тыс. м<sup>2</sup>/га, поглощение ФАР листьями посева максимально [3, 12]. В 2019 г. в фазу бутонизации погодные условия для развития ассимиляционной поверхности листьев были оптимальными: площадь листьев составила в среднем по сортам 19,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, в 2018 г – 15,2 тыс. м<sup>2</sup>/га, в 2017 г. – 13,8 тыс. м<sup>2</sup>/га (табл. 2). В налив бобов из-за недостатка тепла этот показатель ниже в среднем на 48% по сравнению с 2017-2018 гг. У линии Л-85 в среднем за три года по сравнению с другими сортами максимальная площадь листьев 85,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, у Красивой Мечи – минимальная 35,4 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В налив бобов отмечен высокий уровень изменчивости площади листьев в 2018 и 2019 гг., коэффициент вариации равен 45% и 52% соответственно.

Таблица 2

**Площадь листьев сортов сои, тыс. м<sup>2</sup>/га**

Сорт	Бутонизация				Налив бобов			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$
Зуша	17,0	16,1	26,5	19,9	60,8	39,5	32,1	44,1
Крас. Меча	11,8	12,1	19,5	14,4	44,7	32,0	29,5	35,4
Ланцетная	14,6	18,7	21,7	18,3	53,8	58,7	32,8	48,4
Мезенка	12,7	16,8	19,5	16,3	64,1	69,4	25,1	52,9
Осмонь	12,4	11,8	20,8	15,0	51,1	44,2	32,0	42,4
Свапа	16,9	15,2	14,7	15,6	39,0	53,3	48,0	46,8
Шатиловская17	16,8	15,5	18,9	17,1	40,3	43,7	86,6	56,9
Л-216	10,4	16,8	14,3	13,8	41,4	59,6	17,0	39,3
Л-85	12,2	13,6	22,3	16,0	86,7	120,3	49,1	85,4
$\bar{x}$	13,9	15,2	19,8		53,5	57,9	39,1	
CV, %	18%	15%	19%		29%	45%	52%	

Фотосинтетическая продуктивность определяется не только величиной ассимиляционной поверхности, но и длительностью ее функционирования. Фотосинтетический потенциал (ФП) представляет собой сумму величин площади листьев за каждые сутки периода.

ФП от бутонизации до налива бобов в 2019 г. составляет 1031,2 тыс. м<sup>2</sup> х сут./га, что ниже двух предыдущих лет на 24% (табл. 3). В 2017 и 2018 гг. значения ФП на одном уровне 1278,1-128,07 тыс. м<sup>2</sup> х сут./га. В среднем за 3 года ФП изменяется от 899,8 тыс. м<sup>2</sup> х сут./га у Красивой Мечи до 1823,8 тыс. м<sup>2</sup> х сут./га у линии Л-85.

Чистая продуктивность (ЧПФ) характеризует интенсивность фотосинтеза и измеряется количеством сухой массы растения в г, которое синтезирует 1 м<sup>2</sup> ассимиляционной поверхности за сутки. В 2018 и 2019 гг. ЧПФ в среднем по сортам составила 5,6 г/м<sup>2</sup> х сут. и 5,0 г/м<sup>2</sup> х сут. В 2019 г. ЧПФ самая низкая за годы исследований 3,4 г/м<sup>2</sup> х сут. В среднем за три года максимальная ЧПФ у линии Л-85 5,3 г/м<sup>2</sup> х сут. и у Красивой Мечи и Мезенки 5,1 г/м<sup>2</sup> х сут.

Таблица 3

**Фотосинтетический потенциал (бутонизация – налив бобов) и чистая продуктивность фотосинтеза сортов сои**

Сорт	ФП, тыс. м <sup>2</sup> х сут./га				ЧПФ, г/м <sup>2</sup> х сут.			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$
Зуша	1479,7	972,3	1025,3	1159,1	5,5	5,6	1,9	4,3
Крас. Меча	1071,8	771,1	856,6	899,8	6,2	5,6	3,6	5,1
Ланцетная	1298,7	1355,9	953,2	1202,6	5,0	3,3	3,0	3,8
Мезенка	1458,8	1509,6	780,3	1249,6	7,1	4,8	3,4	5,1
Осмось	1206,5	980,2	924,5	1037,1	5,4	4,7	3,3	4,5
Свапа	1062,5	1198,8	1097,1	1119,5	5,0	5,5	4,0	4,8
Шатиловская17	1085,3	1036,9	1846,4	1322,9	4,1	4,3	5,1	4,5
Л-216	984,6	1335,3	547,1	955,7	5,6	4,4	2,4	4,1
Л-85	1878,0	2343,1	1250,4	1823,8	6,3	6,3	3,4	5,3
$\bar{x}$	1280,7	1278,1	1031,2		5,6	4,9	3,4	
CV, %	22%	36%	35%		16%	18%	27%	

Наиболее производительная фотосинтезирующая система работала во влажном и теплом 2017 г.: в среднем по сортам урожай сухой надземной массы максимальный за 3 года 8,2 т/га; в слабо засушливом 2018 г. – 7,9 т/га. Количество сухого вещества в неблагоприятном 2019 г. составило 7,1 т/га, что ниже, чем в 2017-2018 гг. на 11-15% (табл. 4). Максимальный урожай сухого вещества в среднем за три года – у линии Л-85 12,3 т/га. Зерновая продуктивность в 2019 г. колебалась от 1,3 т/га у Л-216 до 2,7 т/га у Л-85. Наибольший урожай зерна в среднем за 3 года у Л-85 2,8 т/га.

В слабо засушливом 2018 г. распределение пластических веществ от вегетативных органов к генеративным наиболее сбалансированное: урожай зерна в среднем по сортам выше, чем в 2017 и 2019 гг. на 30,3% и 45,5% соответственно. Урожай зерна в среднем за 3 года колебался от 2,2 т/га у Л-216 до 2,8 т/га у Л-85.

Таблица 4

**Урожай сухой надземной массы и зерна сортов сои**

Сорт	Сухая надземная масса, т/га				Зерно, т/га			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$	2017 г.	2018 г.	2019 г.	$\bar{x}$
Зуша	9,2	6,4	5,5	7,0	1,9	3,2	1,9	2,3
Крас. Меча	7,4	5,1	7,5	6,7	2,8	2,7	2,0	2,5
Ланцетная	7,4	10,2	6,3	8,0	2,7	3,1	1,8	2,5
Мезенка	11,2	8,4	5,6	8,4	2,2	3,7	1,5	2,5
Осмось	7,3	5,4	6,7	6,5	2,5	3,3	1,6	2,5
Свапа	6,4	7,6	7,7	7,2	2,4	3,1	1,9	2,5
Шатиловская	5,7	5,4	13,1	8,1	2,1	3,5	1,8	2,5
Л-216	6,2	7,0	3,2	5,5	2,0	3,4	1,3	2,2
Л-85	12,7	15,7	8,5	12,3	2,1	3,7	2,7	2,8
$\bar{x}$	8,2	7,9	7,1		2,3	3,3	1,8	
НСР <sub>05</sub>	2,389	1,745	1,950		0,389	0,320	0,568	
CV, %	14,0	9,0	21,0		14%	10%	21%	

**Заключение**

В умеренные годы (ГТК 1,3-1,4) фотосинтетическая система сои работает наиболее продуктивно, развивая ассимиляционную поверхность до 90 тыс. м<sup>2</sup>/га с укороченным периодом функционирования, что способствует оптимальному распределению пластических веществ между вегетативными и генеративными органами и формированию высокой зерновой продуктивности (2,5 т/га). Во влажные годы увеличивается высота и масса стебля,

что отрицательно сказывается на урожае зерна (2,1 т/га). В засушливые годы фотосинтетический аппарат сои обеспечивает получение урожая зерна 1,8 т/га. Таким образом, в контрастных по влагообеспеченности и температурному режиму погодных условиях листовой аппарат сортов сои, реализуя способность к саморегуляции, позволяет растениям формировать зерновую продуктивность на уровне 1,8-2,5 т/га.

Линия Л-85, отличающаяся высокими значениями фотосинтетических показателей, сформировала максимальную урожайность сухого вещества 12,3 т/га и зерна 2,8 т/га в среднем за 3 года. В засушливые годы установлена корреляционная зависимость между урожаем зерна и площадью листьев на уровне  $r=0,649-0,873$ , между урожаем зерна и ФП – на уровне  $r=0,657-0,682$ . Во все годы исследований между урожаем надземной массы и площадью листьев и ФП наблюдалась взаимосвязь на среднем и высоком уровне  $r=0,550-0,971$ .

### Литература

1. Nicholas J. Tomeo, David M. Rosenthal. Variable Mesophyll Conductance among Soybean Cultivars Sets a Tradeoff between Photosynthesis and Water-Use-Efficiency // *Plant Physiology*, 2017. – V. 174. – Is. 1. – P. 241–257.
2. Alexandrina Stirbet, Dušan Lazár, Ya Guo, Govindjee Govindjee. Photosynthesis: basics, history and modelling // *Annals of Botany*, 2019. – V. 126. – Is. 4. – P. 511–537.
3. Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений // Физиология фотосинтеза. М.: «Наука», – 1982. – С. 7-33.
4. Тооминг Х.Г. Оптимизация фотосинтетической деятельности на ценотическом уровне // Фотосинтез и продукционный процесс. М.: Наука, 1988. – С. 164-176.
5. Зеленский М.И. Фотосинтетические характеристики важнейших сельскохозяйственных культур и перспективы их селекционного использования / М.И. Зеленский // Физиологические основы селекции растений (Теоретические основы селекции). - СПб.: изд-во ВИР, – 1995. – Т. 2 – С. 466-554.
6. Семененко В.Е. Механизмы эндогенной регуляции фотосинтеза и адаптивные свойства хлоропласта // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, – 1982. – С. 164-187.
7. Головина Е.В., Зотиков В.И. Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ. - Орел: Картуш, – 2019. – С. 28-40.
8. Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П., Гуреева Е.В. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода // Аграрный научный журнал, – 2020. – № 9. – С. 4-9.
9. Зотиков В.И. Отечественная селекция зернобобовых и крупяных культур // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2020 – № 3 (35). – С. 12-19. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11179
10. Задорин А.М., Зеленев А.А., Мордвина М.В. Достижения селекции Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур в аспекте роста соевого производства в России // Зернобобовые и крупяные культуры, – 2019 г. – № 2 (30). – С. 53-56. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11088
11. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами 2010 / под ред. В.М. Лукомца. – Краснодар, – 327 с.
12. Кумаков В.А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. – М.: Колос, – 1985. – 270 с.

### References

1. Nicholas J. Tomeo, David M. Rosenthal. Variable Mesophyll Conductance among Soybean Cultivars Sets a Tradeoff between Photosynthesis and Water-Use-Efficiency. *Plant Physiology*, 2017. - V. 174. - Is. 1. - Pp. 241-257.
2. Alexandrina Stirbet, Dušan Lazár, Ya Guo, Govindjee Govindjee. Photosynthesis: basics, history and modeling. *Annals of Botany*, 2019. - V. 126. - Is. 4. - P. 511-537.
3. Nichiporovich A.A. Fiziologiya fotosinteza i produktivnost' rastenii. Fiziologiya fotosinteza [Physiology of photosynthesis and plant productivity. Physiology of photosynthesis]. Moscow, «*Nauka*», 1982, pp. 7-33. (In Russian)
4. Tooming Kh.G. Optimizatsiya fotosinteticheskoi deyatelnosti na tsenoticheskom urovne. Fotosintez i produktivnyi protsess [Optimization of photosynthetic activity at the cenotic level. Photosynthesis and production process]. Moscow, *Nauka*, 1988, pp. 164-176. (In Russian)
5. Zelenskii M.I. Fotosinteticheskie kharakteristiki vazhneishikh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i perspektivy ikh selektsionnogo ispol'zovaniya. Fiziologicheskie osnovy selektsii rastenii (Teoreticheskie osnovy selektsii) [Photosynthetic characteristics of the most important agricultural crops and the prospects for their breeding use. Physiological foundations of plant breeding (Theoretical foundations of breeding)], St. Petersburg, *VIR*, 1995, V.2, pp. 466-554. (In Russian)
6. Semenenko V.E. Mekhanizmy endogennoi regulyatsii fotosinteza i adaptivnye svoistva khlоропласта. Fiziologiya fotosinteza [Mechanisms of endogenous regulation of photosynthesis and adaptive properties of chloroplast. Physiology of photosynthesis]. Moscow, *Nauka*, 1982, pp. 164-187. (In Russian)

7. Golovina E.V., Zotikov V.I. Produktsionnyi protsess i adaptivnye reaktsii k abioticheskim faktoram sortov soi severnogo ekotipa v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona RF [Production process and adaptive responses to abiotic factors of soybean varieties of the northern ecotype under the conditions of the Central Black Earth Region of the Russian Federation]. Orel: *Kartush*, 2019, pp. 28-40. (In Russian)
8. Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Gureeva E.V. Rost i razvitie sortov soi severnogo ekotipa v zavisimosti ot vliyaniya limitiruyushchikh faktorov vegetatsionnogo perioda [Growth and development of northern ecotype soybean varieties depending on the influence of limiting factors of the growing season]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2020, no.9, pp. 4-9. (In Russian)
9. Zotikov V.I. Otechestvennaya selektsiya zernobobovykh i krupyanykh kul'tur [Domestic breeding of leguminous and groat crops]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2020, no. 3 (35), pp. 12-19. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11179 (In Russian)
10. Zadorin A.M., Zelenov A.A., Mordvina M.V. Dostizheniya selektsii federal'nogo nauchnogo tsentra zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v aspekte rosta soevogo proizvodstva v Rossii [Achievements in breeding of the Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops in the Aspect of the Growth of Soybean Production in Russia]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2019, no. 2 (30), pp. 53-56. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11088 (In Russian)
11. Lukomets V.M., ed. Metodika provedeniya polevykh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami [Methodology for conducting field agrotechnical experiments with oilseeds], 2010, Krasnodar, 327 p. (In Russian)
12. Kumakov V.A. Fiziologicheskoe obosnovanie modelei sortov pshenitsy [Physiological substantiation of models of wheat varieties]. 1985, Moscow, Kolos, 270 p. (In Russian)