

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-32-41>

УДК 631.4:633.34:631.67



## ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОЛИВНОГО ПОРОГА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КОРМОВУЮ ЦЕННОСТЬ СОИ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ

М.Г. Загоруйко<sup>1✉</sup>, М.Е. Бельшкينا<sup>1</sup>, Н.П. Попова<sup>2</sup>, Т.П. Кобозева<sup>1</sup><sup>1</sup> Федеральний научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты вегетационного и полевого опытов по влиянию условий влагообеспеченности на продуктивность и кормовую ценность сои сорта Мегева. Установлено, что условия влагообеспеченности являются важным фактором в регулировании уровня симбиотической азотфиксации и продукционного процесса у сои. Повышение предполивной влажности почвы с 40 до 60% ППВ (предельная полевая влагоемкость) позволяет существенно повысить продуктивность культуры: урожайность – с 4,11 до 7,64 г/сосуд; сбор белка с урожаем семян – с 8,04 до 16,50 г/сосуд; незаменимых аминокислот – с 5,22 до 10,70 г/сосуд, или в 1,81-2,05 раза; сбор жира – с 2,34 до 4,37 г/сосуд, или в 1,68-1,85 раза; сбор кормовых единиц – с 28,77 до 53,48 г/сосуд, или в 1,69-1,86 раза. В полевом опыте при оптимальной тепло- и влагообеспеченности урожайность составляет 2,71 т/га, уровень симбиотической азотфиксации достигает 208 кг/га, что покрывает 96% потребности растений в азоте. Избыточная и особенно недостаточная влагообеспеченность существенно снижает показатели продуктивности: урожайность – в 1,08-1,84 раза; сбор белка – в 1,14-1,62 раза; сбор незаменимых аминокислот – в 1,13-1,60 раза; лизина – в 1,12-1,61 раза; сбор жира – в 1,04-1,42 раза, ненасыщенных жирных кислот – в 1,03-1,41; сбор кормовых единиц – в 1,101,80 раза; уровень симбиотической азотфиксации – до 33-79%, или в 1,29-2,90 раза.

**Ключевые слова:** соя, предполивной порог влажности почвы, урожайность, белок, незаменимые аминокислоты, жир, кормовые единицы, инокуляция, ризоторфин, симбиотическая азотфиксация, симбиоз, симбиотический потенциал, фотосинтез, фотосинтетический потенциал

**Формат цитирования:** Загоруйко М.Г., Бельшкينا М.Е., Попова Н.П., Кобозева Т.П. Влияние предполивного порога влажности почвы на продуктивность и кормовую ценность сои на мелиорированных землях // Природообустройство. 2024. № 1. С. 32-41. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-32-41>

Original article

## INFLUENCE OF THE PRE-IRRIGATION THRESHOLD OF SOIL MOISTURE ON THE PRODUCTIVITY AND FEED VALUE OF SOYBEANS ON RECLAIMED LANDS

M.G. Zagoruiko<sup>1✉</sup>, M.E. Belyshkina<sup>1</sup>, N.P. Popova<sup>2</sup>, T.P. Kobozeva<sup>1</sup><sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Moscow, 1st Institute Pas., 5, Russia<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov, 127434, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya str., 44, buil. 2, Russia.

**Abstract.** The results of vegetation and field experiments on the influence of moisture conditions on the productivity and feed value of Mageva soybeans are presented. It is established that the conditions of moisture availability are an important factor in regulating the level of symbiotic nitrogen fixation and the production process in soybeans. Increasing the pre-irrigation soil moisture from 40 to 60% PPV (maximum field moisture capacity) can significantly increase crop productivity: yield from 4.11 to 7.64 g/vessel, protein harvesting with seed yield from 8.04 to 16.50 g/vessel, essential amino acids from 5.22 to 10.70 g/vessel or 1.81-2.05 times; fat collection – from 2.34 to 4.37 g/vessel, or 1.68-1.85 times, collection of feed units from 28.77 to 53.48 g/vessel or 1.69-1.86 times. In the field experiment, with

optimal heat and moisture availability, the yield is 2.71 t/ha, the level of symbiotic nitrogen fixation reaches 208 kg/ha, which covers 96% of the nitrogen needs of plants. Excessive and especially insufficient moisture supply significantly reduce productivity indicators: yield – by 1.08-1.84 times, protein collection by 1.14-1.62 times, collection of essential amino acids – by 1.13-1.60 times, lysine – by 1.12-1.61 times, fat collection – by 1.04-1.42 times, and unsaturated fatty acids – by 1.03-1.41, collection of feed units – 1.10-1.80 times, the level of symbiotic nitrogen fixation up to 33-79% or 1.29-2.90 times.

**Keywords:** soybean, pre-irrigation threshold of soil moisture, yield, protein, essential amino acids, fats, feed units, inoculation, rhizotorphin, symbiotic nitrogen fixation, symbiosis, symbiotic potential, photosynthesis, photosynthetic potential

**Format of citation:** Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Popova N.P., Kobozeva T.P. Influence of pre-irrigation threshold of soil moisture on productivity and feed value of soybeans on reclaimed lands // Prirodoobustrojstvo. 2024. № 1. P. 32-41. <https://doi.org/0.26897/1997-6011-2024-1-32-41>

**Введение.** В настоящее время увеличение производства сои в Российской Федерации имеет важное экономическое и социальное значение. Благодаря уникальному химическому составу соя широко используется в различных отраслях народного хозяйства, и в первую очередь – в пищевой и кормовой промышленности [1]. По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2019 г. Российская Федерация занимала 8-е место в мире по производству семян сои [2]. Однако соя остается довольно сложной культурой для выращивания, средняя урожайность которой по стране с 2019 г. по настоящее время составляет 1,57-1,59 т/га при потенциально возможной урожайности большинства современных сортов 2,0-3,0 т/га и выше.

Реализация продукционного потенциала сои определяется в первую очередь условиями вегетации, агротехникой и сортовыми особенностями культуры, что создает немало сложностей при ее выращивании как в обычных, так и в специализированных севооборотах [3, 4]. Именно поэтому технологии возделывания сои ежегодно совершенствуются, подстраиваясь под определенные условия не только региона, но и отдельного хозяйства, определяя адаптивно-ландшафтные принципы ведения соеводства.

Благодаря такому подходу более 30 лет назад для условий Центрального и Южного Нечерноземья отечественными учеными были созданы сорта сои северного экотипа, которые позволили, используя природно-ресурсный потенциал территории, выращивать сою до 56° северной широты включительно. Изучение перспективы широкой интродукции сои северного экотипа в Нечерноземье позволит расширить кормовую базу для создания полноценных, богатых незаменимыми аминокислотами кормов, используемых в животноводстве, птицеводстве и рыбоводстве [5].

Одной из проблем в выращивании сои, в том числе в Нечерноземье, является требовательность этой культуры к условиям

влагообеспеченности [6, 7]. До наступления фазы цветения соя сравнительно неплохо переносит почвенные и воздушные засухи. Критический период по водопотреблению приходится на фазу цветения-налива бобов, что по календарным датам соответствует июлю – началу августа, то есть самому жаркому периоду в Нечерноземье. Недостаток влаги в эти фазы развития и роста крайне негативно сказывается на работе ассимиляционного и симбиотического аппаратов сои, и в итоге – на величине и качестве урожая [8, 9].

Устранить последствия недостаточного влагообеспечения в критический период практически невозможно: происходит активный лизис клубеньков, наблюдается ранний отток ассимилятов из листьев, что приводит к их преждевременному сбрасыванию, большое количество завязавшихся бобов abortируется.

Проблема регулирования водного режима сои северного экотипа становится более актуальной на фоне изменений климата в сторону аридизации, в том числе в ряде районов Нечерноземной зоны. Поэтому целью наших исследований стало обоснование нижнего порога оптимальной влажности почвы для получения возможных высоких сборов кормовых единиц с урожаем зерна сои при симбиотрофном типе питания азотом.

**Материалы и методы исследований.** Опыты (вегетационные и полевые) проводили на опытном поле ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» в период с 2008 по 2021 гг. на сорте сои Магева (оригинатор сорта – Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ») и ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Влияние предполивного порога влажности почвы на урожайность и кормовую ценность зерна сои изучали в вегетационном опыте в сосудах

со стеклянной скошенной стенкой при симбиотрофном типе питания азотом по методике Г.С. Посыпанова. При этом предполивной порог влажности в вариантах опыта составлял 40, 50 и 60% от ППВ – предельной полевой влагоемкости (ППВ по А.П. Розову – предельное количество влаги, которое может удержать почва в подвешенном состоянии) [10]. Оценку фотосинтетической деятельности посевов, продуктивности и кормовой ценности сои производили в девятипольном севообороте в условиях естественной влагообеспеченности. Закладка опытов и обработка результатов исследований осуществлялись в соответствии со стандартными апробированными методиками [11, 12].

Инокуляцию семян проводили непосредственно перед посевом ризоторфином – бактериальным препаратом, созданным на основе комплиментарного штамма клубеньковых бактерий 6356 *Rhizobium japonicum*.

Величину симбиотического аппарата выражали через общий (ОСП) или активный (АСП) симбиотический потенциал – произведение средней за вегетационный период сырой массы (всех или активных) клубеньков с 1 га посева на продолжительность их функционирования в днях. Интенсивность процесса рассчитывали по удельной активности симбиоза (УАС), то есть по количеству азота, г, фиксированного из воздуха за сутки 1 кг сырых активных клубеньков.

Условия влагообеспеченности оценивали в критический период водопотребления (от начала цветения до полного налива семян) по величине гидротермического коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК). При этом были выделены годы с недостаточной (ГТК – 0,6-0,8),

оптимальной (ГТК – 0,9-1,1) и избыточной (ГТК – 1,2-1,7) влагообеспеченностью. Сумма активных температур в годы исследований была достаточной для вызревания посевов и варьировала от 1700 до 2100°C.

Биохимический анализ семян проводился во ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои (г. Благовещенск) на установке NIR-42.

**Результаты и их обсуждение.** В ходе исследований установлено, что всходы сои появляются в среднем на 8-й день после посева, начало цветения наблюдается на 30-35 дни, полная спелость – на 68-78 дни после появления всходов, вегетационный период составляет 76-86 дней при сумме активных температур 1564-1662°C (табл. 1).

Установлено, что цветение наступает тем раньше (в среднем по опыту на 3-5 дней), чем ниже порог предполивной влажности почвы. Эта разница возрастает к фазе полной спелости и составляет 8-10 дней. В целом периодическое снижение влажности почвы до 40-50% ППВ (влажности разрыва капилляров) на 8-10 дней сокращает период от посева до полной спелости.

Известно, что симбиотическая азотфиксация – микробно-опосредованный процесс, преобразующий газообразный азот в аммиак с помощью белкового комплекса нитрогеназы [13]. Азотфиксация – важнейший на планете процесс, позволяющий направить неорганические соединения азота на биосинтез аминокислот, белков, нуклеиновых кислот и др.

Рост, развитие и отмирание симбиотического аппарата при разных уровнях предполивного порога влажности почвы наблюдали в сосудах

Таблица 1. Продолжительность вегетации и межфазных периодов сои в зависимости от условий влагообеспеченности, сорт Мегева, вегетационный опыт (в среднем за 3 года)

Table 1. Duration of vegetation and interphase periods of soybeans, depending on the conditions of moisture availability, Mageva variety, vegetation experience (on average for 3 years)

Период <i>Period</i>	Влажность почвы, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>		
	40	50	60
Посев-всходы, дней / <i>Sowing-sprouting, days</i>	8	8	8
Всходы-цветение (начало), дней / <i>Sprouting-flowering (beginning), days</i>	30	33	35
Цветение-полная спелость, дней / <i>Flowering – full ripeness, days</i>	38	41	43
Всходы-полная спелость, дней / <i>Sprouting-full ripeness, days</i>	68	74	78
Посев-полная спелость, дней / <i>Sowing-full ripeness, days</i>	76	82	86
Сумма активных температур за вегетационный период, °C <i>Sum of active temperatures during the vegetation period, °C</i>	1564	1624	1662

со скошенной стеклянной стенкой. В ходе наблюдений установлено, что первые клубеньки на корнях образуются на 7-й день после появления всходов, на 10-й день в них появляется леггемоглобин, означающий начало азотфиксации (табл. 2).

Число и масса клубеньков увеличиваются до фазы полного налива семян, затем постепенно снижаются, и к фазе полной спелости симбиотический аппарат полностью разрушается.

Установлено, что клубеньки на корнях размещаются достаточно компактно. Большая их часть (98%) сосредоточена в верхнем (0-10 см) слое почвы в радиусе 10-12 см от главного корня. Объясняется это тем, что ризоторфин, нанесенный на семена, инфицирует зародышевый и верхние боковые корни. Инфицирования же периферийной корневой системы не происходит, поскольку в почве Нечерноземной зоны аборигенные клубеньковые бактерии отсутствуют.

В регионах с продолжительным периодом соеяния клубеньки у сои размещены по корневой системе более равномерно, но все равно большая их часть расположена в верхних, хорошо аэрируемых горизонтах, хотя сам процесс восстановления азота, осуществляемый ферментной системой нитрогеназы, является анаэробным. Анаэробные условия для нитрогеназы

обеспечивает леггемоглобин, обладая высоким средством с кислородом [14].

Режим полива оказывает существенное влияние на симбиотический процесс. Установлено, что продолжительность активного симбиоза (количество дней от появления первых активных клубеньков до их полного отмирания) тем больше, чем больше воды получает растение. В варианте с предполивным порогом влажности 40% ППВ он составляет 41 день, при увеличении предполивного порога до 50% ППВ – 57 дней (на 16 дней больше), при влажности перед поливом 60% ППВ – 62 дня (на 21 день больше), или в 1,22-1,40 раза соответственно.

По мере улучшения условий влагообеспеченности возрастает число клубеньков в 1,22-1,40 раза, их масса – в 1,57-1,85 раза, активный симбиотический потенциал (АСП) – в 1,182,80 раза. При этом доля крупных, диаметром более 5 мм клубеньков в общем их количестве увеличивается в 2,00-4,00 раза и составляет в варианте с предполивной влажностью почвы 40% ППВ – 16%; при 50% ППВ – 33%; при 60% ППВ – 64% (рис. 1).

С увеличением предполивного порога влажности почвы возрастает масса листьев и стеблей на фоне уменьшения массы корней и их доли в общей массе растений (рис. 2). Так, в варианте с поливом при влажности 40% ППВ

**Таблица 2. Показатели симбиотической деятельности сои в зависимости от условий влагообеспеченности, сорт Мадгева, вегетационный опыт (в среднем за 3 года)**

**Table 2. Indicators of symbiotic activity of soybeans depending on the conditions of moisture availability, Mageva variety, vegetation experience (on average for 3 years)**

Показатель <i>Indicator</i>	Влажность почвы, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>		
	40	50	60
<b>Период «всходы-образование клубеньков на корнях», дней</b> <i>Period "sprouting-formation of nodules on roots", days</i>	7	7	7
<b>Период «всходы-образование активных клубеньков на корнях», дней</b> <i>Period "sprouting-formation of active nodules on roots", days</i>	10	10	10
<b>Продолжительность активного симбиоза, дней</b> <i>Duration of active symbiose, days</i>	41	57	62
<b>Число активных клубеньков на корнях, шт./сосуд</b> <i>Number of active nodules on roots, pcs/vessel</i>	22	27	31
<b>Масса активных клубеньков на корнях, г/сосуд</b> <i>Weight of active nodules on roots, g/vessel</i>	3,5	5,5	6,5
<b>Активный симбиотический потенциал (АСП), г x дней/сосуд</b> <i>Active symbiotic potential (ASP), g x days/vessel</i>	71,8	85,1	201,5

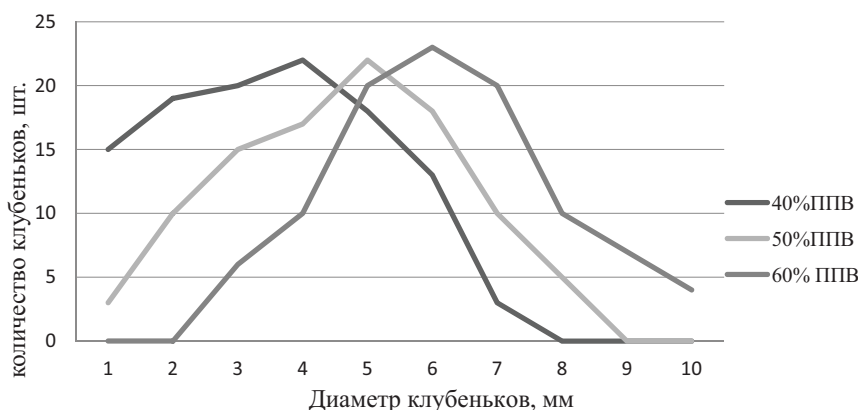


Рис. 1. Распределение клубеньков по диаметру, мм, у растений в зависимости от предполивного порога влажности почвы на примере сорта Мажева  
 Fig. 1. Distribution of nodules by diameter (mm) in plants depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture on the example of the Mageva variety

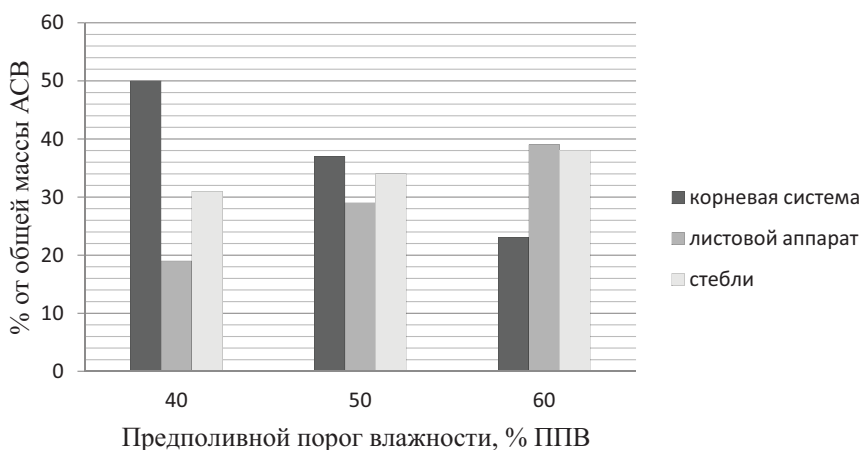


Рис. 2. Накопление абсолютно сухого вещества растениями сои в зависимости от предполивного порога влажности почвы, % от общей массы  
 Fig. 2. Accumulation of absolutely dry matter by soybean plants depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture, % of the total mass

доля корней составляет 50%; при 50% ППВ – 37%; при 60% ППВ – 23%. Объясняется это тем, что при дефиците влаги значительная часть фотосинтезатов направляется растением на рост корневой системы, которая в поисках влаги проникает в нижние, более влажные горизонты. При достаточной влагообеспеченности большая часть фотосинтезатов направляется на рост и развитие надземной массы и формирование генеративных органов.

С увеличением предполивной влажности отмечается улучшение питания растений. Так, в варианте с 60% ППВ высота растений увеличивается в 1,35 и 1,62 раза по сравнению с ППВ 50 и 40% соответственно (табл. 3). Кроме того, в варианте с предполивной влажностью 60% ППВ нами отмечена значительно меньшая абортивность бобов, а также увеличение массы 1 тыс. семян, которая в 1,26-1,32 раза превышала другие варианты.

Отмечено также, что улучшение режима влагообеспеченности увеличивает высоту нижних ярусов, на которых формируются бобы. Эту особенность необходимо учитывать для обеспечения агротехнических требований к уборке сои северного экотипа, так как зачастую высота прикрепления нижнего боба составляет менее 10 см, что способствует потере значительной доли урожая [15].

В результате проведенных исследований отмечено, что с увеличением порога предполивной влажности с 40 до 60% ППВ сбор белка с урожаем семян возрастает с 8,04 до 16,50 г/сосуд, незаменимых аминокислот – с 5,22 до 10,70 г/сосуд, или в 1,81-2,05 раза; сбор жира – с 2,34 до 4,37 г/сосуд, или в 1,68-1,85 раза, сбор кормовых единиц – с 28,77 до 53,48 г/сосуд, или в 1,69-1,86 раза (табл. 4).

В полевых опытах при выращивании сои в оптимальные по влагообеспеченности годы

Таблица 3. Структура урожая сои в зависимости от предполивного порога влажности почвы, сорт Магева, вегетационный опыт, в среднем за 3 года  
 Table 3. The structure of the soybean crop depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture, Mageva variety, vegetation experience, on average for 3 years

Показатель <i>Indicator</i>	Влажность почвы, % ППВ / <i>Soil moisture, % PPV</i>			НСР <sub>05</sub>
	40	50	60	
Высота растений, см / <i>Plant height, cm</i>	48	65	78	4,7
Высота крепления нижнего боба, см <i>Attachment height of lower bob, cm</i>	11	13	15	0,8
Бобов, шт./раст. / <i>Bobs, pcs./plant</i>	20	26	23	1,4
Семян, шт./раст. / <i>Beans, pcs./plant</i>	37	50	52	3,1
Семян, шт./1 боб / <i>Beans, pcs./1 bob</i>	1,85	1,92	2,26	0,13
Масса семян, г/раст. / <i>Weight of beans, g/plant</i>	4,11	6,95	7,64	0,45
Масса 1000 семян, г / <i>Weight of 1000 beans, g</i>	111	139	147	7,35

Таблица 4. Кормовая ценность, белковая и масличная продуктивность сои в зависимости от предполивного порога влажности почвы, сорт Магева, вегетационный опыт, в среднем за 3 года

Table 4. Feed value, protein and oilseed productivity of soybeans depending on the pre-irrigation threshold of soil moisture, Mageva variety, vegetation experience, on average for 3 years

Показатель <i>Indicator</i>	Влажность почвы, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>			НСР <sub>05</sub>
	40	50	60	
<b>Белковая продуктивность сои / <i>Protein productivity of soybeans</i></b>				
Масса семян, г/сосуд / <i>Seed weight, g/vessel</i>	20,55	34,75	38,20	2,29
Содержание белка в семенах, % АСВ <i>Protein content in seeds, % of DIA</i>	39,10	42,30	43,20	2,16
Сбор белка, г/сосуд / <i>Protein collection, g/vessel</i>	8,04	14,70	16,50	0,99
Сбор незаменимых аминокислот, г/сосуд <i>Essential amino acids collection, g/vessel</i>	5,22	9,55	10,72	0,64
<b>Масличная продуктивность сои / <i>Oilseed productivity of soybeans</i></b>				
Содержание жира в семенах, % АСВ <i>Fat content in seeds, % of ADS</i>	19,00	19,00	19,10	0,95
Сбор жира с урожаем семян, г/сосуд <i>Fat collection with seeds yield, g/vessel</i>	3,90	6,60	7,29	0,43
Сбор ненасыщенных жирных кислот, г/сосуд <i>Collection of unsaturated fat acids, g/vessel</i>	2,34	3,96	4,37	0,26
<b>Кормовая ценность сои / <i>Feed value of soybeans</i></b>				
Сбор кормовых единиц, г/сосуд <i>Harvesting of feed units, g/vessel</i>	28,77	48,65	53,48	0,32

Таблица 5. Показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности посевов сои в разные по влагообеспеченности годы, сорт Магева, полевой опыт

Table 5. Indicators of photosynthetic and symbiotic activity of soybean crops in years of different moisture availability, Mageva variety, field experience

Показатель <i>Indicator</i>	Влагообеспеченность, % ППВ <i>Soil moisture, % PPV</i>			В среднем по годам <i>On average per years</i>
	Избыточная <i>Excessive</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>	
<b>Симбиотическая деятельность посевов / <i>Symbiotic activity of soybean crops</i></b>				
Сырая масса клубеньков всего, кг/га <i>Raw weight of nodules total, kg/ha</i>	634	868	600	700
Сырая масса активных клубеньков, кг/га <i>Raw weight of active nodules, kg/ha</i>	412	554	234	401
ОСП, кг × дней/га / OSI, kg × days/ha Общий симбиотический показатель <i>The overall symbiotic indicator</i>	38556	39595	27087	29661
АСП, кг × дней/га / ASI, kg × days/ha Active symbiotic indicator	19355	22124	10834	17348
Максимальное потребление азота, кг/га <i>Maximal nitrogen consumption, kg/ha</i>	199	211	178	196
УАС, г × сутки/кг активных клубеньков Удельный активный симбиоз <i>Specific active symbiosis</i> SAS, g × day/kg active nodules	9,0	9,6	5,3	7,93
Симбиотически фиксированный азот, кг/га <i>Symbiotically fixed nitrogen, kg/ha</i>	162	208	61	143
Доля симбиотически фиксированного азота от максимального потребления, % <i>Proportion of symbiotically fixed nitrogen in maximum consumption, %</i>	79	96	33	71
<b>Фотосинтетическая деятельность посевов / <i>Photosynthetic activity of soybean crops</i></b>				
Максимальная площадь листьев, м <sup>2</sup> /га <i>Maximum area of leaves, m<sup>2</sup>/ha</i>	32064	37788	25448	31767
Максимальное накопление абсолютно сухой массы, кг/га <i>Maximum accumulation of absolute dry weight, kg/ha</i>	6781	7277	5908	6655
ФСП, тыс. м <sup>2</sup> × дней/га <i>PSA, thousand m<sup>2</sup> × days/ha</i>	1823	1911	1813	1849
Чистая продуктивность фотосинтеза, г × сутки/м <sup>2</sup> <i>Net productivity of photosynthesis, g × day/m<sup>2</sup></i>	3,52	3,63	3,11	3,42

формируется максимальный фотосинтетический (1911 тыс. м<sup>2</sup> × дней/га) и симбиотический (22124 кг × дней/га) аппарат. При этом соя за счет симбиотической азотфиксации накапливает 208 кг/га азота, составляющего в общем его потреблении 96%, то есть агроценоз почти полностью обеспечивает себя азотом за счет биологической азотфиксации. При избыточной влагообеспеченности на ее долю приходится 79%,

при недостатке влаги – 33%, в среднем по опыту – 71%.

Урожайность сои варьирует по годам от 1,47 т/га в условиях недостаточной влагообеспеченности до 2,71 т/га при оптимальной влажности (табл. 6) и снижается при избыточной влагообеспеченности в 1,08 раза, при недостаточной – в 1,84 раза. При этом на 2,13 и 3,31% уменьшается содержание белка в семенах;

Таблица 6. Урожайность, кормовая ценность, белковая и масличная продуктивность зерна сои в разные по влагообеспеченности годы, сорт Магева, полевой опыт

Table 6. Yield, feed value, protein and oilseed productivity of soybean grain in different moisture years, Mageva variety, field experience

Показатели <i>Indicators</i>	Влагообеспеченность / <i>Soil moisture</i>			В среднем по опыту <i>On average per experience</i>	НСР <sub>05</sub>
	Избыточная <i>Excessive</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>		
<b>Белковая продуктивность / <i>Protein productivity</i></b>					
Урожайность, т/га / <i>Productivity, n/ha</i>	2,49	2,71	1,47	2,22	0,11
Содержание белка, % от АСВ <i>Protein content, % of ADS</i>	40,51	42,64	39,33	40,82	2,04
Сбор белка с урожаем семян, кг/га <i>Protein collection with seed yield, kg/ha</i>	935	1074	661	882	44
Сбор незаменимых аминокислот, кг/га <i>Collection of essential amino acids, kg/ha</i>	589	677	416	556	28
Сбор лизина, кг/га / <i>Lysine collection, kg/ha</i>	47	54	33	44	2
<b>Масличная продуктивность / <i>Oilseed productivity</i></b>					
Содержание жира, % от АСВ <i>Fat content, % of ADS</i>	20,47	18,90	20,05	19,80	0,99
Сбор жира с урожаем семян, кг/га <i>Fat collection with seed yield, kg/ha</i>	473	476	335	428	21
Сбор ненасыщенных жирных кислот, кг/га <i>Collection of unsaturated fat acids, kg/ha</i>	274	276	194	248	12
<b>Кормовая ценность / <i>Feed value</i></b>					
Сбор кормовых единиц (КЕ) с урожаем семян, кг/га <i>Collection of feed units (FU) with seed yield, kg/ha</i>	3610	3929	2132	3219	161

в 1,14 и 1,62 раза – сбор белка с урожаем семян; в 1,13-1,60 раза – сбор незаменимых аминокислот; в 1,12-1,61 раза – сбор лизина; в 1,42 раза – сбор жира; в 1,41 раза – сбор ненасыщенных жирных кислот; в 1,10 и 1,80 раза – сбор кормовых единиц. При этом на 2,13 и 3,31% уменьшается содержание белка в семенах; в 1,14 и 1,62 раза – сбор белка с урожаем семян; в 1,13-1,60 раза – сбор незаменимых аминокислот; в 1,12-1,61 раза – сбор лизина; в 1,42 раза – сбор жира; в 1,41 раза – сбор ненасыщенных жирных кислот; в 1,10 и 1,80 раза – сбор кормовых единиц.

### Выводы

1. При повышении предполивной влажности почвы с 40 до 60% ППВ соя сорта Магева завершает вегетацию на 16-21 дни позже при сумме активных температур 1624-1662°C.

2. По мере увеличения предполивного порога влажности почвы (с 40 до 60% ППВ) повышается продуктивность культуры: урожайность – с 4,11 до 7,64 г/сосуд; сбор белка с урожаем семян – с 8,04 до 16,50 г/сосуд;

незаменимых аминокислот – в 1,81-2,05 раза; сбор жира – в 1,68-1,85 раза; сбор кормовых единиц – в 1,69-1,86 раза; доля семян в общей массе растений увеличивается с 49 до 70-74%.

4. В оптимальные по влагообеспеченности годы формируется максимальный фотосинтетический (1911 тыс. м<sup>2</sup> × дней/га) и симбиотический (22124 кг × дней/га) аппарат, при этом за счет симбиотической азотфиксации азотное питание сои обеспечивается на 96%.

5. В годы с ГТК 0,9-1,1 урожайность сои сорта Магева в условиях Нечерноземной зоны составляет 2,71 т/га. Избыточная и особенно недостаточная тепло- и влагообеспеченность существенно снижает показатели продуктивности посевов: урожайность – в 1,08-1,84 раза; сбор белка – в 1,14-1,62 раза; сбор незаменимых аминокислот – в 1,13-1,60 раза, лизина – в 1,12-1,61 раза; сбор жира – в 1,04-1,42 раза, ненасыщенных жирных кислот – в 1,03-1,41; сбор кормовых единиц – в 1,10-1,80 раза; уровень симбиотической азотфиксации – до 33-79%, или в 1,29-2,90 раза.



## Список использованных источников

1. **Бородычев В.В.** Соя в Волгоградской области / Лытов М.Н., Салдаев А.М., Пахомов Д.А. Волгоград: Панорама, 2008. 224 с.
2. Федеральная служба государственной статистики. URL: [https://gks.ru/bgd/regl/b21\\_38/IssWWW.exe/Stg/3-03.docx](https://gks.ru/bgd/regl/b21_38/IssWWW.exe/Stg/3-03.docx) (дата обращения: 07.04.2023).
3. **Бельшклина М.Е.** Динамические параметры формирования урожая раннеспелых сортов сои в условиях Центрального Нечерноземья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 77-84.
4. **Бельшклина М.Е.** Современное состояние и перспективы мирового и российского рынков сои // Аграрная Россия. 2013. № 6. С. 7-11.
5. **Шевченко В.А., Кобозева Т.П., Попова Н.П.** Оптимизация кормовой ценности кукурузно-соевого силоса на мелиорированных землях Нечерноземья: монография. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», 2018. 204 с.
6. **Головина Е.В., Зотиков В.И., Гришечкин В.В.** Водный режим сортов сои северного экотипа и продуктивность // Зернобобовые и крупяные культуры. 2015. № 2 (14). С. 37-42.
7. **Гуреева Е.В.** Влияние гидротермических условий на урожайность семян сои в условиях Рязанской области // Земледелие. 2018. № 7. С. 34-35.
8. **Дорохов А.С., Бельшклина М.Е.** Агроклиматическая характеристика регионов Нечерноземной зоны Российской Федерации и оценка пригодности для возделывания современных раннеспелых сортов сои // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 34-39.
9. **Юркова Р.Е., Селицкий С.А., Докучаева Л.М.** Влияние режимов орошения на водопотребление, развитие и урожайность сои // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 204-217.
10. **Посыпанов Г.С.** Современные методы определения количества фиксированного азота воздуха в полевых условиях / Кобозева Т.П., Тазин И.И., Беляев Е.В., Делаяев У.А. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2006. № 2. С. 129-134.
11. **Алт В.В., Исакова С.П.** Планирование работ при возделывании зерновых культур: программные компоненты // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 12-18.
12. **Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П.** Методы исследований в полевых опытах с соей: учебное пособие. Благовещенск: Онеон, 2016. 116 с.
13. **Завалин А.А.** Биологический и минеральный азот в земледелии России: монография. М., 2022. 256 с.
14. **Попова Н.П.** Симбиотическая деятельность посевов сои в Центральном Нечерноземье // Известия Международной академии аграрного образования. 2015. № 25-1. С. 68-72.
15. **Дозоров А.В., Ермошкин Ю.В.** Симбиотическая и фотосинтетическая деятельность сои при разных сроках и способах посева // Зерновое хозяйство. 2007. № 6. С. 30-32.

## References

1. **Borodychev V.V.** Soy in the Volgograd region / Lytov M.N., Saldaev A.M., Pakhomov D.A. Volgograd: Panorama, 2008. 224 p.
2. Federal state statistics service [https://gks.ru/bgd/regl/b21\\_38/IssWWW.exe/Stg/3-03.docx](https://gks.ru/bgd/regl/b21_38/IssWWW.exe/Stg/3-03.docx) (Date of reference: 04/07/2023)
3. **Belyshkina M.E.** Dynamic parameters of early-ripening soybean crop formation in the conditions of the Central Non-Chernozem region // Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural academy. 2018. № 4 (44). P. 77-84.
4. **Belyshkina M.E.** The current state and prospects of the world and Russian soybean markets // Agrarian Russia. 2013. No. 6. P. 7-11.
5. **Shevchenko V.A., Kobozeva T.P., Popova N.P.** Optimization of the feed value of corn-soy silage on reclaimed lands of the Non-Chernozem region. M.: FGBNU "VNIIGiM named after A.N. Kostyakov", 2018. 204 p.
6. **Golovina E.V., Zotikov V.I., Grishechkin V.V.** Water regime of soybean varieties of the northern ecotype and productivity // Leguminous and cereal crops. 2015. № 2 (14). P. 37-42.
7. **Gureeva E.V.** Influence of hydrothermal conditions on the yield of soybean seeds in the conditions of the Ryazan region // Agriculture. 2018. No. 7. P. 34-35.
8. **Dorokhov A.S., Belyshkina M.E.** Agro-climatic characteristics of the regions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation and assessment of suitability for cultivation of modern early-ripening soybean varieties // Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural academy. 2021. № 3 (55). P. 34-39.
9. **Yurkova R.E., Selitsky S.A., Dokuchaeva L.M.** Influence of irrigation regimes on water consumption, development and yield of soybeans // Melioration and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12. No. 4. P. 204-217.
10. **Posypanov G.S.** Modern methods for determining the amount of fixed nitrogen in the air in the field conditions / Kobozeva T.P., Tazin I.I., Belyaev E.V., Delaev U.A. // Izvestiya of the Timiryazevskaya agricultural academy. 2006. No. 2. P. 129-134.
11. **Alt V.V., Isakova S.P.** Planning of work in the cultivation of grain crops: software components // Agricultural machines and technologies. 2023. Vol. 17. No. 4. pp. 12-18.
12. **Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P.** Research methods in field experiments with soy. Blagoveshchensk: All-Russian Research Institute of Soy, 2016. 116 p.
13. **Zavalin A.A.** Biological and mineral nitrogen in agriculture of Russia: monograph. Moscow, 2022. 256 p.
14. **Popova N.P.** Symbiotic activity of soybean crops in the Central Non-Chernozem region // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2015. No. 25-1. Pp. 68-72.
15. **Dozorov A.V., Ermoshkin Yu.V.** Symbiotic and photosynthetic activity of soybeans at different terms and methods of sowing // Grain farming. 2007. No. 6. P. 30-32.

**Об авторах**

**Михаил Геннадьевич Загоруйко**, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник; ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

**Марина Евгеньевна Бельшккина**, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник; ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; vimsoya@yandex.ru

**Наталья Павловна Попова**, канд. с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник; РИНЦ AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

**Тамара Петровна Кобозева**, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник; Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

**Author information**

**Mikhail G. Zagoruiko**, candidate of technical sciences, associate professor, senior researcher RINTS, ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

**Marina E. Belyshkina**, doctor of agricultural sciences, leading researcher, ORCID: 0000-0003-2876-1031, WoS Resercher ID: AAI-7539-2021, Scopus ID: 57221306773, РИНЦ AuthorID: 675431; vimsoya@yandex.ru

**Natalia P. Popova**, candidate of agricultural sciences, associate professor, senior researcher RINTS AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

**Tamara P. Kobozeva**, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

**Критерии авторства / Authorship criteria**

Загоруйко М.Г., Бельшккина М.Е., Попова Н.П., Кобозева Т.П. выполнили теоретические и практические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Zagoruyko M.G., Belyshkina M.E., Popova N.P., Kobozeva T.P. carried out theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote, have the copyright to the article and are responsible for plagiarism.

**Конфликт интересов / Conflict of Interest**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

**Вклад авторов / Authors' contributions**

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors have contributed equally to the preparation of the publication.

**Поступила в редакцию / Received at the editorial office** 02.06.2023

**Поступила после рецензирования / Received after peer review** 10.12.2023

**Принята к публикации / Accepted for publication** 15.12.2023