

Оригинальная статья

УДК 631.4:633.34

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-43-51



## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КОРМОВУЮ ЦЕННОСТЬ ЗЕРНА СОИ ПРИ СИМБИОТРОФНОМ И АВТОТРОФНОМ ТИПАХ ПИТАНИЯ АЗОТОМ

**Бельшикина Марина Евгеньевна**<sup>1✉</sup>, 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

**Кобозева Тамара Петровна**<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник

Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

**Загоруйко Михаил Геннадьевич**<sup>1</sup>, 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

**Ананьева Татьяна Васильевна**<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

ORCID: 0000-0002-5047-7865, Scopus ID: 57202640980, РИНЦ AuthorID: 696227; ananevatv7@yandex.ru

**Попова Наталья Павловна**<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник

РИНЦ AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

<sup>1</sup> Федеральний научний агроінженерний центр ВІМ; 109428, г. Москва, 1-й Інститутський проїзд, 5, Росія

<sup>2</sup> Всеросійський науково-дослідницький інститут гідротехніки і меліорації імені А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты многолетних исследований по влиянию влагообеспеченности посевов на урожайность, кормовую ценность, белковую и масличную продуктивность у сортов сои северного экотипа (Магева, Окская и Светлая). Установлено, что в условиях Центрального Нечерноземья сорта сои северного экотипа обеспечивают максимальную урожайность 3,05 т/га; содержание белка 43,51%; содержание жира 20,67%; сбор белка 1322 кг/га; сбор незаменимых аминокислот 833 кг/га; сбор жира 531 кг/га; сбор кормовых единиц 4118 кг/га. В годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью предпосевная инокуляция семян активным штаммом 6056 *Rhizobium japonicum* существенно повышает продуктивность сои: урожайность – на 0,21-0,25 т/га; содержание белка в семенах – на 2,11-3,35%; жира – на 0,33-0,57%; сбор белка с урожаем – на 125-176 кг/га; сбор жира – на 43-72 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – на 84-111 кг/га, в том числе лизина – на 7-8 кг; сбор ненасыщенных жирных кислот – на 29-37 кг/га; сбор кормовых единиц – на 305-348 кг/га. Установлено, что 82-98% азота от максимального его потребления усваивается агроценозом из воздуха за счет симбиотической азотфиксации.

**Ключевые слова:** соя, северный экотип, урожайность, кормовые единицы, биологическая азотфиксация, инокуляция, бобово-ризобияльный симбиоз, белок, жир, незаменимые аминокислоты, ненасыщенные жирные кислоты

**Формат цитирования:** Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П. Влияние условий влагообеспеченности на урожайность и кормовую ценность зерна сои при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом // Природообустройство. 2023. № 2. С. 43-51. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-43-51.

© Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П., 2023

Scientific article

## INFLUENCE OF MOISTURE SUPPLY CONDITIONS ON THE YIELD AND FEED VALUE OF SOYBEAN GRAIN IN SYMBIOTROPIC AND AUTOTROPHIC TYPES OF NITROGEN NUTRITION

**Belyshkina Marina Evgenievna**<sup>1✉</sup>, 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

**Kobozeva Tamara Petrovna**<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher

Scopus ID: 57457635700, РИНЦ AuthorID: 344930; tkobozeva@rgau-msha.ru

**Zagoruiko Mikhail Gennadievich**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher

ORCID: 57220182022, WoS Resercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, PIИЦ AuthorID: 323776; zagorujko.misha2013@yandex.ru

**Ananyeva Tatiana Vasilyevna**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

ORCID: 0000-0002-5047-7865, Scopus ID: 57202640980, PIИЦ AuthorID: 696227; ananevatv7@yandex.ru

**Popova Natalia Pavlovna**<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher

PIИЦ AuthorID: 891027; lyn.popova@yandex.ru

<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

**Annotation.** The results of long-term studies on the effect of moisture availability of crops on yield, feed value, protein and oilseed productivity in soybean varieties of the northern ecotype (Mageva, Okskaya and Svetlaya) are presented. It was found that in the conditions of the Central Non-Chernozem region, soybean varieties of the northern ecotype provide maximum yield – 3.05 t/ha; protein content – 43.51%; fat content – 20.67%; protein collection – 1322 kg/ha; collection of essential amino acids – 833 kg/ha; fat collection – 531 kg/ha; collection of feed units – 4118 kg/ha. In years with excessive and optimal moisture supply, pre-sowing inoculation of seeds with the active strain 605b *Rhizobium japonicum* significantly increases soybean productivity: yield – by 0.21-0.25 t/ha; protein content in seeds – by 2.11-3.35%; fat – by 0.33-0.57%; protein harvest – by 125-176 kg/ha; fat collection – by 43-72 kg/ha; collection of essential amino acids – by 84-111 kg/ha, including lysine – by 7-8 kg; collection of unsaturated fatty acids by 29-37 kg/ha; collection of feed units – by 305-348 kg/ha. It was found that 82-98% of nitrogen from its maximum consumption is absorbed by the agro enosis from the air due to symbiotic nitrogen fixation.

**Keywords:** soy, northern ecotype, yield, feed units, biological nitrogen fixation, inoculation, legume-rhizobial symbiosis, protein, fat, essential amino acids, unsaturated fatty acids

**Format of citation:** Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zagoruiko M.G., Ananyeva T.V., Popova N.P. Influence of moisture supply conditions on the yield and feed value of soybean grain in symbiotrophic and autotrophic types of nitrogen nutrition // Природообустройство. 2023. No. 2. S. 43-51. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-43-51.

**Введение.** В настоящее время ресурсосбережение и экологизация сельскохозяйственного производства предусматривают поиск и научные разработки новых подходов к составлению севооборотов, активной доработке недостатков предыдущих стратегий природопользования. Одним из наиболее масштабных направлений в этом отношении является решение вопросов обеспечения отечественными кормами за счет внедрения перспективных сортов и гибридов кормовых растений, в том числе бобовых. В последнее время наряду с традиционными бобовыми культурами появилась возможность для интродукции сои в севообороты Центрального Нечерноземья [1]. Успехи российских селекционеров и генетиков в последние три десятилетия позволили создать сорта сои северного экотипа, существенно продвинув ее на север (до 56° северной широты), увеличив площадь возделывания в России с 500 тыс. га (1990 г.) до 3,5 млн га (2022 г.), повысив при этом валовой сбор зерна до 5,4 млн т, урожайность – до 1,8 т/га; сбор белка – до 2,5 млн т, жира – до 1,2 млн т [2].

Актуальность изучения широкой интродукции сортов сои северного экотипа в более северные районы Нечерноземной зоны перспективна и вполне оправдана благодаря менее выраженной реакцией фотопериодизма по сравнению с традиционными сортами, что обеспечивает созревание этих сортов за 100-120 дней, уменьшая тем самым риски потерь урожая от неблагоприятных погодных условий осеннего периода [3, 4]. При этом одновременно учитываются вопросы эффективного природопользования и энергосбережения (за счет симбиотической фиксации азота), повышения почвенного плодородия, а также обеспечивается полноценная смена культур в севообороте [5, 6].

Общеизвестно, что в новых районах соеяния в почвах нет специфичной для сои аборигенной азотфиксирующей микрофлоры, и бобово-ризобиальный симбиоз отсутствует [3, 7, 8]. В этой связи искусственная инокуляция семян специфичным, вирулентным, активным штаммом клубеньковых бактерий остается важным и неотъемлемым агротехническим приемом повышения биологической азотфиксации, и как

следствие – урожайности, белковой продуктивности и кормовой ценности зерна в нетрадиционных районах соесаяния [3, 7, 9]. А.А. Завалин [5, 8] отмечает, что эффективное использование биологического азота, накопленного в почве как за счет симбиотической азотфиксации, так и благодаря богатым азотом растительным остаткам бобовой культуры, происходит в севообороте в течение 4 лет. Коэффициент использования биологического азота составляет от 25 до 40% [10], однако конечная величина накопленного азота определяется прежде всего вегетационными условиями, агротехникой и сортовыми особенностями культуры.

Многочисленными исследованиями [3, 11, 12] установлена тесная связь между условиями произрастания посевов – такими, как питательный и температурный режим, влагообеспеченность растений, особенно в критические фазы развития, с величиной и активностью симбиотического аппарата. Именно совокупное действие данных факторов во многом определяет возможность успешного выращивания сои, а также величину фиксированного азота, участвующего в формировании урожая самой сои и последующих культур севооборота. Известно, что симбиотическая фиксация азота воздуха, осуществляемая на корнях бобовых культур, усиливает атрагирование углеводов из листьев и значительно повышает интенсивность фотосинтеза. Между величиной и активностью симбиотического аппарата, уровнем урожая и его качеством существует тесная прямая корреляция [12].

Целью исследований явилось изучение влияния влагообеспеченности посевов сои северного экотипа на урожайность и кормовую ценность зерна при симбиотрофном и автотрофном типах питания азотом в условиях Центрального Нечерноземья.

**Материалы и методы исследований.** Изучение биологической азотфиксации в условиях естественной влагообеспеченности посевов сои проводили на опытном поле ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (2008-2020 гг.) на районированных ультраскороспелых сортах северного экотипа (Магева, Светлая, Окская, совместной селекции ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и Института семеноводства и агротехнологий – филиала ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» в девятипольном севообороте (предшественник сои – кормовая свекла) на дерново-подзолистых среднесуглинистых слабокислых ( $pH_{\text{сол.}} - 6,6$  ед.)

почвах, среднеобеспеченных по основным показателям минерального питания. Закладка опытов и обработка результатов осуществлялись в соответствии со стандартными апробированными методиками: фенологические наблюдения проводили методом учетных площадок, учет биологического урожая осуществляли в фазе полного созревания семян методом отбора пробных снопов с  $1 \text{ м}^2$  [13]. Инокуляцию семян проводили непосредственно перед посевом бактериальным препаратом ризоторфин, созданным на основе комплиментарного штамма клубеньковых бактерий 6356 *Rhizobium japonicum*.

Гидротермический коэффициент рассчитывался по формуле:

$$\text{ГТК} = \sum_p / 0,1 \sum T_{\text{акт.}}$$

где  $\sum_p$  – сумма осадков за период вегетации;  $\sum T_{\text{акт.}}$  – сумма активных температур за период вегетации.

В зависимости от величины гидротермического коэффициента в критический период водопотребления у сои (ГТК по Г.С. Селянинову) годы исследований были подразделены на три группы: годы с избыточной (ГТК 1,2-1,7), оптимальной (ГТК 0,9-1,1) и недостаточной (ГТК 0,6-0,8) влагообеспеченностью. Термообеспеченность посевов колебалась от  $1700 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $2100 \text{ }^\circ\text{C}$ , что обеспечило созревание посевов во все годы исследований.

Химический анализ семян выполнялся во Всероссийском научно-исследовательском институте сои (г. Благовещенск) на установке NIR-42.

**Результаты и их обсуждение.** Наблюдения за развитием симбиотического аппарата сои показали, что клубеньки на ее корнях формируются к фазе 3-го тройчатого листа, то есть на 15-18 дни после появления всходов. На 3-4 дни в них появляется левоглобин, наличие которого означает начало азотфиксации. По мере роста и развития растений число и масса клубеньков на корнях увеличиваются, достигая максимума к фазе налива бобов. При нормальной влагообеспеченности симбиотический аппарат на корнях представлен довольно крупными клубеньками (выростами округлой формы), дисперсно расположенными на корневой системе (рис.) в верхнем (10-12 см), хорошо аэрируемом слое почвы. При переходе растений в генеративную фазу происходит перераспределение фотоассимилятов в пользу генеративных органов, и рост симбиотического аппарата замедляется, концентрация левоглобина уменьшается, клубеньки постепенно начинают отмирать. К фазе полной спелости наблюдается их полный лизис.



Рис. Симбиотический аппарат на корнях сои при проведении инокуляции

Fig. Symbiotic apparatus on soybean roots during inoculation

Процесс азотфиксации является энергоемким, то есть для ассимиляции 1 мг азота аэробным микроорганизмам требуется около 500 мг сахарозы. По этой причине процессы азотфиксации и фотосинтеза взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Величину симбиотического аппарата принято выражать 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 рассчитывают

по удельной активности симбиоза (УАС), то есть по количеству азота (в граммах), фиксированного из воздуха за сутки 1 кг сырых активных клубеньков.

В условиях оптимальной влагообеспеченности леглоббин сохраняется в клубеньках практически до начала созревания, и общий симбиотический потенциал (ОСП) мало отличается от активного. При дефиците влаги наблюдается снижение активности симбиоза. Клубеньки становятся меньше, их число сокращается, в них снижается концентрация леглобина, раньше наступает их лизис, уменьшается ОСП, в еще большей степени – АСП и УАС. В итоге величина азотфиксации сокращается более чем в 3 раза, снижаются урожайность и его качество (табл. 1, 2).

При избыточной влагообеспеченности наблюдается тенденция снижения показателей фотосинтетической и симбиотической деятельности посева, следствием чего становится достоверное снижение урожайности, однако не такое значительное, как при остром дефиците влаги.

В результате исследований нами установлено, что количество симбиотически фиксированного азота в значительной мере зависит от влагообеспеченности посевов. По данным исследований, в условиях оптимальной влагообеспеченности агроценоза соя усваивает в среднем по сортам

Таблица 1. Показатели симбиотической деятельности посевов сои северного экотипа (в среднем по сортам Магева, Окская, Светлая) в разные по влагообеспеченности годы при симбиотрофном типе питания азотом

Table 1. Indicators of symbiotic activity of soybean crops of the northern ecotype (on average for varieties Mageva, Okskaya, Svetlaya) in years of different moisture availability with a symbiotrophic type of nitrogen nutrition

Показатель <i>Indicator</i>	Влагообеспеченность / <i>Moisture availability</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>
	Избыточная <i>Excess</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>	
Сырая масса клубеньков всего, кг/га <i>Raw mass of nodules total, kg / ha</i>	647	886	613	715
Сырая масса активных клубеньков, кг/га <i>Raw mass of active nodules, kg / ha</i>	421	566	239	409
ОСП, кг × дней/га / <i>OSP, kg × days / ha</i>	39343	40404	27640	30267
АСП, кг × дней/га / <i>ASP, kg × days / ha</i>	19750	22576	11056	17794
Максимальное потребление азота, кг/га <i>Maximal consumption of nitrogen, kg / ha</i>	203	215	182	200
УАС, г × сутки/кг активных клубеньков <i>SSA, g × day / kg of active nodules</i>	9,2	9,8	5,4	8,1
Симбиотически фиксированный азот, кг/га <i>Symbiotically fixed nitrogen, kg / ha</i>	166	212	62	146
Доля симбиотически фиксированного азота от максимального потребления, % <i>Share of symbiotically fixed nitrogen from the maximal consumption, %</i>	81	98	34	73

**Таблица 2. Показатели фотосинтетической деятельности посевов сои северного экотипа (в среднем по сортам Магева, Окская, Светлая) в разные по влагообеспеченности годы при симбиотрофном типе питания азотом**

**Table 2. Indicators of photosynthetic activity of soybean crops of the northern ecotype (on average for varieties Mageva, Okskaya, Svetlaya) in years of different moisture availability with a symbiotrophic type of nitrogen nutrition**

Показатели <i>Indicators</i>	Влагообеспеченность / <i>Moisture availability</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>
	Избыточная <i>Excess</i>	Оптимальная <i>Optimal</i>	Недостаточная <i>Insufficient</i>	
Максимальная площадь листьев, м <sup>2</sup> /га <i>Maximum leaf area, m<sup>2</sup> / ha</i>	32719	38560	25967	32415
Максимальное накопление абсолютно сухой массы, кг/га <i>Maximum accumulation of absolutely dry mass, kg / ha</i>	6920	7425	6029	6791
ФСП, тыс. м <sup>2</sup> × дней/га / <i>PSP, thousand m<sup>2</sup> × days / ha</i>	1861	1950	1850	1887
Чистая продуктивность фотосинтеза, г × сутки/м <sup>2</sup> <i>Photosynthesis net productivity, g × day/ m<sup>2</sup></i>	3,60	3,71	3,18	3,49
Урожайность семян, т/га / <i>Seed yield, t / ha</i>	2,55	2,77	1,50	2,27

212 кг/га симбиотически фиксированного азота, то есть 98% от максимального его потребления; при избыточной влагообеспеченности – 166, или на 46 кг/га меньше; при недостаточной – 62 кг/га, или в 3,41 раза меньше. При этом доля симбиотически фиксированного азота в общем его потреблении составляет в первом случае 98%, во втором – 81%, при дефиците влаги – 34%, в среднем по опыту – 73%.

При достаточной влагообеспеченности максимальные показатели фотосинтетической и симбиотической деятельности посевов совпадают (табл. 2).

Низкая влагообеспеченность посевов существенно замедляет активность и продолжительность функционирования симбиотического и фотосинтетического аппаратов сои, что наиболее заметно на инокулированных посевах. Так, урожайность в вариантах без инокуляции в годы с низкой влагообеспеченностью по сравнению с оптимальными условиями снижалась в 1,6 раза, с инокуляцией – в 1,8 раза; сбор белка – соответственно в 1,80 и 1,95 раза; сбор незаменимых аминокислот – в 1,80 и 1,96; лизина – в 1,80 и 1,90; сбор жира – в 1,67 и 1,71; сбор ненасыщенных жирных кислот – в 1,59 и 1,71, а сбор кормовых единиц – в 1,70 и 1,91 раза соответственно.

Согласно исследованиям инокуляция семян достоверно (на 0,21-0,25 т/га) повысила урожайность сои в годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью. При этом увеличивалось содержание белка в семенах (на 2,11-3,35%), сбор белка с урожаем (на 125-176 кг/га), возрастал сбор незаменимых аминокислот (на 84-111 кг/га), в том числе

лизина (на 7-8 кг), повышался сбор кормовых единиц (на 305-348 кг/га) (табл. 3).

Инокуляция семян также обеспечивает повышение содержания жира в семенах на 0,33-0,57% и способствует увеличению маслянистой продуктивности в среднем по сортам на 43-72 кг/га (табл. 4).

Очевидно, при недостаточной влагообеспеченности наблюдается конкуренция за ассимиляты между симбиотическим и ассимиляционным аппаратами сои, что приводит к снижению урожайности и его качества. Однако следует обратить внимание на факт высокой засухоустойчивости сои. Даже в годы с недостаточной влагообеспеченностью урожай семян составил в среднем по сортам 1,44-1,50 т/га; сбор белка с урожаем – 563-602 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – 354-379 кг/га, что эквивалентно урожаю зерновых около 4,00 т/га без учета качества белка. При этом сбор жира был на уровне 287-306 кг/га, сбор ненасыщенных жирных кислот – 169-177 кг/га, сбор кормовых единиц – 2088-2175 кг/га. При этом отмечена тенденция более высоких показателей продуктивности у инокулированных вариантов.

В ходе исследований установлено, что изучаемые сорта обладают неодинаковой адаптационной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды. Как наиболее стрессоустойчивый и стабильный по показателям урожайности и его качества, нами отмечен сорт Светлая: его максимальная урожайность составила 3,04 т/га, содержание белка в семенах – 43,51%. Существенно уступают сорт Окская (урожайность – 2,76 т/га, содержание белка – 39,14%) и сорт Магева (урожайность – 2,52 т/га, содержание белка – 39,55%).

Таблица 3. Урожайность и белковая продуктивность сортов сои северного экотипа при симбиотрофном (в числителе) и автотрофном (в знаменателе) типах питания азотом в разные по влагообеспеченности годы

Table 3. Yield and protein productivity of soybean varieties of the northern ecotype with symbiotrophic (in the numerator) and autotrophic (in the denominator) types of nitrogen nutrition in years of different moisture availability

Влагообеспеченность <i>Moisture availability</i>	Сорт / <i>Variety</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>	НСР <sub>05</sub>
	Магева / <i>Mareva</i>	Окская / <i>Okskaya</i>	Светлая / <i>Svetlaya</i>		
<b>Урожайность, т/га / <i>Yield, t / ha</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	<u>2,31</u> 2,10	<u>2,51</u> 2,35	<u>2,84</u> 2,58	<u>2,55</u> 2,34	0,14
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>2,52</u> 2,28	<u>2,76</u> 2,53	3,04 2,78	<u>2,77</u> 2,53	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>1,67</u> 1,60	<u>1,50</u> 1,45	<u>1,35</u> 1,29	<u>1,50</u> 1,44	0,10
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>2,16</u> 1,99	<u>2,25</u> 2,11	<u>2,41</u> 2,21	<u>2,27</u> 2,10	0,13
<b>Содержание белка в семенах, % от абсолютно сухого вещества</b> <i>Protein content in seeds, % from the absolutely dry substance</i>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	40,51 38,49	39,20 37,20	41,44 39,12	<u>40,38</u> <u>38,27</u>	2,42
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>42,64</u> 39,55	<u>41,64</u> 39,14	<u>43,51</u> 40,31	<u>42,59</u> 39,66	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>39,33</u> 38,95	<u>39,85</u> 39,00	<u>41,12</u> 39,42	<u>40,10</u> 39,12	2,41
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	40,82 38,99	40,23 38,44	42,02 39,61	<u>41,02</u> <u>39,02</u>	2,46
<b>Сбор белка с урожаем семян, кг/га / <i>Protein collection with the seed yield, kg / ha</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	935 808	984 874	1177 1009	<u>1029</u> <u>896</u>	62
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>1074</u> 901	1149 990	1322 1120	<u>1179</u> <u>1003</u>	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>661</u> 623	598 565	555 508	<u>602</u> <u>563</u>	36
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	882 775	910 811	1012 875	<u>931</u> <u>820</u>	56
<b>Сбор незаменимых аминокислот с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of essential amino acids with the seeds yield, kg / ha</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	589 509	<u>619</u> 551	742 636	648 564	39
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>677</u> 568	<u>723</u> 624	<u>833</u> 706	<u>743</u> 632	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>416</u> 392	<u>377</u> 356	<u>350</u> 320	<u>379</u> 354	23
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>556</u> 488	<u>573</u> 511	<u>638</u> 551	<u>586</u> 517	36
<b>Сбор лизина с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of lysine with the seeds yield, kg / ha</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	47 40	<u>50</u> 44	59 51	<u>52</u> 45	3,1
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>54</u> 45	<u>58</u> 50	67 56	<u>59</u> 51	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	33 31	30 28	28 26	<u>30</u> <u>28</u>	1,8
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>44</u> 39	<u>46</u> 41	<u>51</u> 44	<u>47</u> 41	2,8

**Таблица 4. Содержание и сбор жира с урожаем семян сортов северного экотипа при симбиотрофном (в числителе) и автотрофном (в знаменателе) типах питания азотом в разные по влагообеспеченности годы**

**Table 4. The content and collection of fat with the harvest of seeds of varieties of the northern ecotype with symbiotrophic (in the numerator) and autotrophic (in the denominator) types of nitrogen nutrition in years of different moisture availability**

Влагообеспеченность <i>Moisture availability</i>	Сорт / <i>Variety</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>	НСР <sub>05</sub>
	Марева / <i>Mareva</i>	Окская / <i>Okskaya</i>	Светлая / <i>Svetlaya</i>		
<b>Содержание жира в семенах, % от абсолютно сухого вещества / <i>Fat content in seeds, % from the absolutely dry substance</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	<u>20,47</u> 19,91	<u>20,11</u> 19,98	<u>18,68</u> 18,37	<u>19,75</u> 19,42	1,19
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>18,90</u> 18,01	<u>19,83</u> 19,01	<u>18,09</u> 18,00	<u>18,91</u> 18,34	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>20,05</u> 19,99	<u>20,46</u> 19,95	<u>20,07</u> 19,95	<u>20,39</u> 19,96	1,22
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>19,80</u> 19,30	<u>20,13</u> 19,64	<u>19,12</u> 18,77	<u>19,68</u> 19,24	
<b>Сбор жира с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of fat with the seeds yield, kg / ha</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	<u>473</u> 418	<u>505</u> 470	<u>531</u> 474	<u>504</u> 454	30
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>476</u> 411	<u>547</u> 489	<u>548</u> 500	<u>524</u> 464	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>335</u> 320	<u>307</u> 289	<u>269</u> 257	<u>306</u> 287	18
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>428</u> 384	<u>453</u> 414	<u>461</u> 415	<u>447</u> 404	
<b>Сбор ненасыщенных жирных кислот с урожаем семян, кг/га / <i>Collection of unsaturated fatty acids with seed yield, kg / ha</i></b>					
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	<u>274</u> 242	<u>292</u> 272	<u>308</u> 274	<u>292</u> 263	18
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>276</u> 238	<u>317</u> 283	<u>318</u> 290	<u>303</u> 269	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>194</u> 186	<u>178</u> 168	<u>156</u> 149	<u>177</u> 169	11
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>248</u> 223	<u>262</u> 241	<u>267</u> 241	<u>259</u> 234	

Таким образом, эффективность инокуляции определяется в наибольшей степени влагообеспеченностью в критические периоды развития посевов (фаза цветения-плодообразования). Этот прием увеличивает продолжительность вегетации изучаемых сортов до 5 дней при нормальной влагообеспеченности и до 12 дней при избыточном увлажнении. Предпосевная инокуляция семян активным штаммом 6056 *Rhizobium japonicum* (Kirchner, 1896) повышает урожайность семян на 10-13%, сбор белка с урожаем семян – на 12-15% за счет повышения урожайности и увеличения содержания белка.

При оптимальной влагообеспеченности сбор кормовых единиц с урожаем сои составляет: при автотрофном типе питания азотом – 3669 кг/га, при симбиотрофном – 4017 кг/га; достоверная прибавка от инокуляции

составляет 305-348 кг/га, при недостатке влаги – 87 кг/га (табл. 5).

Таким образом, предпосевная инокуляция семян является важным агротехническим приемом повышения продуктивности и кормовой ценности сои в Нечерноземной зоне России при возделывании ее в новых районах соеяния, расширяя возможности применения ресурсосберегающих технологий и экологизации сельскохозяйственного производства. Однако учитывая затраты влаги на формирование и работу симбиотического аппарата, следует отказаться от применения инокуляции в районах с повышенной вероятностью возникновения почвенной или атмосферной засух либо предусмотреть возможность поливов до поддержания влажности почвы на уровне 70-80% ППВ в критические периоды развития растений [14].

**Таблица 5. Кормовая ценность (сбор кормовых единиц) зерна сои сортов северного экотипа при симбиотрофном (в числителе) и автотрофном (в знаменателе) типах питания азотом в разные по влагообеспеченности годы, кг/га**

**Table 5. Feed value (collection of feed units) of soybean grains of northern ecotype varieties with symbiotrophic (in the numerator) and autotrophic (in the denominator) types of nitrogen nutrition in years of different moisture availability, kg/ha**

Влагообеспеченность <i>Moisture availability</i>	Сорт / <i>Variety</i>			В среднем по опыту <i>Average from experience</i>	НСР <sub>05</sub>
	Магева / <i>Mareva</i>	Окская / <i>Okskaya</i>	Светлая / <i>Svetlaya</i>		
<b>Избыточная</b> <i>Excess</i>	<u>3350</u> 3045	<u>3640</u> 3448	<u>4118</u> 3741	<u>3698</u> 3393	222
<b>Оптимальная</b> <i>Optimal</i>	<u>3654</u> 3306	<u>4002</u> 3669	<u>4408</u> 4031	<u>4017</u> 3669	
<b>Недостаточная</b> <i>Insufficient</i>	<u>2422</u> 2320	<u>2175</u> 2103	<u>1958</u> 1870	<u>2175</u> 2088	131
<b>В среднем по годам</b> <i>Average per years</i>	<u>3132</u> 2871	<u>3263</u> 3606	<u>3495</u> 3205	<u>3292</u> 3045	

### Выводы

1. В условиях Центрального Нечерноземья сорта сои северного экотипа обеспечивают максимальную урожайность – 3,05 т/га; содержание белка – 43,51%, жира – 20,67%; сбор белка – 1322 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – 833 кг/га; сбор жира – 531 кг/га; сбор кормовых единиц – 4118 кг/га.

3. В условиях оптимальной влагообеспеченности агроценоз сои усваивает в среднем по сортам 212 кг/га симбиотически фиксированного азота (98% от максимального потребления), при избыточной влагообеспеченности – 166 кг/га (81%), при недостаточной – 62 кг/га (34%), или в 3,41 раза меньше; в среднем по опыту – 146 кг/га (73%).

4. В годы с избыточной и оптимальной влагообеспеченностью инокуляция семян

существенно повышает показатели продуктивности сортов: урожайность – на 0,21-0,25 т/га; содержание белка в семенах – на 2,11-3,35%; сбор белка с урожаем – на 125-176 кг/га; сбор незаменимых аминокислот – на 84-111 кг/га, в том числе лизина – на 7-8 кг/га; содержание жира в семенах – на 0,33-0,57%; сбор жира с урожаем семян – на 43-72 кг/га; сбор ненасыщенных жирных кислот – на 29-37 кг/га; сбор кормовых единиц – на 305-348 кг/га.

5. При оптимальной влагообеспеченности сбор кормовых единиц с урожаем сои составляет: при автотрофном типе питания азотом – 3669 кг/га, при симбиотрофном – 4017 кг/га; достоверная прибавка от инокуляции составляет 305-348 кг/га, при недостатке влаги – 87 кг/га.

### Список использованных источников

1. Сеферова И.В., Вишнякова М.А. Генофонд сои из коллекции ВИР для продвижения агрономического ареала культуры к северу // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 3 (27). С. 41-47.
2. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fedstat.ru/>.
3. Посьпанов Г.С. Соя в Подмосковье. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007, 200 с.
4. Sinegovskaya V., Levina A. Formation of reproductive organs in an early-ripening soybean variety, depending on the daylight duration // *International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» // International Scientific and Practical Conference*. 2021. С. 02005.
5. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: Изд-во ВНИИА, 2022. 304 с.
6. Шевченко В.А., Кобозева Т.П., Попова Н.П. Оптимизация кормовой ценности кукурузно-соевого силоса на мелиорированных землях Нечерноземья. М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова», 2018. 204 с.

### References

1. Seferova I.V., Vishnyakova M.A. Soybean gene pool from the VIR collection for the promotion of the agronomic areal of culture to the north // *Leguminous and cereal crops*. 2018. № 3 (27). P. 41-47.
2. Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS) (Electronic resource). – Access mode: <http://www.fedstat.ru/>
3. Posypanov G.S. Soy in the Moscow region. M.: FGOU VPO RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. 2007. 200 p.
4. Sinegovskaya V., Levina A. Formation of reproductive organs in an early-ripening soybean variety, depending on the daylight duration // *International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture»*. International Scientific and Practical Conference. 2021. Pp. 02005.
5. Zavalin A.A. Biological and mineral nitrogen in agriculture of Russia. Moscow: VNIIA Publishing House, 2022. 304 p.
6. Shevchenko V.A., Kobozeva T.P., Popova N.P. Optimization of the feed value of corn-soy silage on reclaimed

7. **Бельшкіна М.Е.** Эффективность применения биологически активных препаратов на посевах сои в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 19-24.

8. **Завалин А.А., Чернова Л.С.** Ресурсы биологического азота и его использования в земледелии России // Плодородие почв России: состояние и возможности. М.: Изд-во ВНИИА, 2019. С. 40-49.

9. **Жаркова С.В., Манылова О.В., Быков Е.С.** Применение препарата Ризоторфин на посевах сои // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 7-2. С. 63-65.

10. **Трепачев Е.П.** Агрохимические аспекты биологического азота в современной земледелии. М.: ВИУА. 1999. 532 с.

11. **Бельшкіна М.Е.** Динамические параметры продукционного процесса раннеспелых сортов сои в зависимости от условий влагообеспеченности вегетационного периода // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (57). С. 33-39.

12. **Бельшкіна 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.

13. **Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П.** Методы исследований в полевых опытах с соей. Благовещенск: ФГБНУ Всероссийский НИИ сои, 2016. 116 с.

14. **Лытов М.Н.** Биоэнергетическая оценка рисков снижения водообеспеченности в различные фазы роста и развития сои // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: Материалы IV Международной научно-практической конференции. Макеевка: ГОУВПО «Донбасская аграрная академия», 2021. Т. II. С. 61-65.

#### Критерии авторства

Бельшкіна М.Е., Кобозева Т.П., Загоруйко М.Г., Ананьева Т.В., Попова Н.П. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат. Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Вклад авторов.

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 03.02.2023

Одобрена после рецензирования 28.02.2023

Принята к публикации 28.02.2023

lands of the Non-Chernozem region. M.: FGBNU «VNIIGiM named after A.N. Kostyakov». 2018. 204 p.

7. **Belyshkina M.E.** The effectiveness of the use of biologically active preparations on soybean crops in the conditions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. № 1 (53). P. 19-24.

8. **Zavalin A.A., Chernova L.S.** Resources of biological nitrogen and its use in agriculture of Russia / In the collection: Fertility of soils of Russia: state and possibilities. M.: VNIIA Publishing House, 2019. P. 40-49.

9. **Zharkova S.V., Manylova O.V., Bykov E.S.** Application of the drug Rizotorphin on soybean crops // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. No. 7-2. P. 63-65.

10. **Trepachev E.P.** Agrochemical aspects of biological nitrogen in modern agriculture. M.: VIUA. 1999. 532 p.

11. **Belyshkina M.E.** Dynamic parameters of the production process of early-ripening soybean varieties depending on the conditions of moisture availability of the growing season // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022. № 1 (57). P. 33-39.

12. **Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Gureeva E.V.** Growth and development of soybean varieties of the northern ecotype depending on the influence of limiting factors of the growing season // Agrarian Scientific journal. 2020. No. 9. P. 4-9.

13. **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.

14. **Lytov M.N.** Bioenergetic assessment of water supply reduction risks in various phases of soybean growth and development // Priority vectors of industry and agriculture development: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Makeyevka: State Educational Institution «Donbass Agrarian Academy», 2021. Vol. II. P. 61-65.

#### Criteria of authorship

Belyshkina M.E., Kobozeva T.P., Zagoruiko M.G., Ananyeva T.V., Popova N.P. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

#### Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

The article was submitted to the editorial office 03.02.2023

Approved after reviewing 28.02.2023

Accepted for publication 28.02.2023