

Влияние азотных удобрений и запасов подвижного фосфора почвы на продуктивность сои в условиях лесостепи Южного Зауралья

Х. С. Юмашев[✉], И. А. Захарова, В. Я. Крамаренко

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия

[✉]E-mail: chniisx2@mail.ru

Аннотация. Цель – изучить влияние азотных удобрений на урожайность и показатели качества зерна сои в условиях лесостепи Южного Зауралья. **Методы.** Объект исследования – районированный по Уральскому региону раннеспелый сорт сои Черемшанка Омского АНЦ. Исследования проводились в стационарном опыте, включенном в реестр длительных опытов Геосети РФ. Соя возделывалась в зернопаротравяном севообороте, предшественник – озимая рожь. Азотные удобрения вносятся в почву в разброс под предпосевную культивацию. Схема опыта факториальная – 0, N₁, N₂, N₃, P₁, P₂, P₃, все сочетания (4 × 4). Дозы удобрений в севообороте под сою и горох – N₂₀₋₆₀. Эффективность азотных удобрений изучалось на фоне последействия фосфорных удобрений. Пространственная реализация схемы осуществлялась в двух блоках. Повторность полей четырехкратная. Общая площадь элементарной делянки – 240 м², учетная площадь – 114 м². В исследованиях использовались следующие методики: гумус общий по Тюрину; сумма поглощенных оснований по Каппену – Гельковицу; рН потенциометрически; подвижный фосфор и обменный калий по Чирикову; белок в зерне гороха и сои по Кельдалю; жир методом Сокслета. **Результаты.** Исследованиями установлено, что по продуктивности соя в севообороте не уступает гороху, а за счет выхода масла севооборот с соей даже превосходит аналогичный севооборот с горохом. Содержание белка в семенах сои с увеличением дозы азотного удобрения возрастает, в то время как содержание жира падает. **Научная новизна.** Выявлены отзывчивость сои на дозы азотных удобрений на фоне разной обеспеченности почвы подвижным фосфором в условиях лесостепи Южного Зауралья.

Ключевые слова: соя, горох, севооборот, доза, азотное удобрение, последействие фосфора, урожайность, белок, жир

Для цитирования: Юмашев Х. С., Захарова И. А., Крамаренко В. Я. Влияние азотных удобрений и запасов подвижного фосфора почвы на продуктивность сои в условиях лесостепи Южного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 02. С. 185–196. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-185-196>.

Дата поступления статьи: 09.06.2023, **дата рецензирования:** 06.07.2023, **дата принятия:** 01.08.2023.

Influence of nitrogen fertilizers and reserves of soil mobile phosphorus on soybean productivity in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals

K. S. Yumashev[✉], I. A. Zakharova, V. Ya. Kramarenko

Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia

[✉]E-mail: chniisx2@mail.ru

Abstract. The purpose is to study the effect of nitrogen fertilizers on the yield and quality of soybean grain in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals. **Methods.** The object of the study is the early-ripening soybean variety Cheremshanka of the Omsk Agrarian Scientific Centre zoned in the Ural region. The studies were carried out in a stationary experiment included in the register of long-term experiments of the Geonetwork of the Russian Federation. Soybean was cultivated in a grain-grass crop rotation, the predecessor was winter rye.

Nitrogen fertilizers are spread into the soil for pre-sowing cultivation. Factorial scheme of experience – 0, N₁, N₂, N₃, P₁, P₂, P₃, all combinations (4 × 4). Doses of fertilizers in the crop rotation for soybeans and peas – N_{20–60}. The effectiveness of nitrogen fertilizers was studied against the background of the aftereffect of phosphorus fertilizers. The spatial implementation of the scheme was carried out in two blocks. The repetition of the fields is fourfold. The total area of an elementary plot is 240 m², the accounting area is 114 m². The following methods were used in the studies: common humus according to Tyurin; the sum of absorbed bases according to Kappen – Gelkovitz; pH potentiometrically; mobile phosphorus and exchangeable potassium according to Chirikov; protein in grains of peas and soybeans according to Kjeldahl; fat by the Soxhlet method. **Results.** Studies have established that soybeans in crop rotation are not inferior to peas in terms of productivity, and due to the oil yield, the soybean rotation even surpasses the similar crop rotation with peas. The protein content in soybean seeds increases with an increase in the dose of nitrogen fertilizer, while the fat content decreases. **Scientific novelty.** The responsiveness of soybeans to the doses of nitrogen fertilizers against the background of different availability of mobile phosphorus in the soil in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals was revealed.

Keywords: soybeans, peas, crop rotation, dose, nitrogen fertilizer, phosphorus aftereffect, yield, protein, fat

For citation: Yumashev K. S., Zakharova I. A., Kramarenko V. Ya. Influence of nitrogen fertilizers and reserves of soil mobile phosphorus on soybean productivity in the conditions of the forest-steppe of the Southern Trans-Urals. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024; 24 (2): 185–196. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-02-185-196>. (In Russ.)

Date of paper submission: 09.06.2023, **date of review:** 06.07.2023, **date of acceptance:** 01.08.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Соя – важнейшая белково-масличная культура мирового значения. Ее семена содержат в среднем 37–42 % белка, 19–22 % масла и до 30 % углеводов. По аминокислотному составу протеин сои близок к белку куриных яиц, а масло относится к легкоусвояемым и содержит жирные кислоты, не вырабатываемые организмом животных и человека [1, с. 24; 2, с. 45].

По занимаемым площадям соя является самой распространенной зернобобовой и масличной культурой нашей планеты, которую возделывают более 60 стран на пяти континентах в умеренном, субтропическом и тропическом поясах. Соя оказалась экологически пластичной культурой и благодаря проделанной во многих странах селекционной работе широко шагнула далеко за пределы первоначального распространения [2, с. 37].

Россия также не осталась в стороне от этого процесса. В последние годы во многих селекционных центрах ведутся работы по селекции данной культуры, введены сорта, которые способны даже в условиях континентального климата формировать урожай полноценного зерна [3, с. 50; 4, с. 33].

Исследования по экологическому испытанию новых сортов сои велись в регионе Южного Зауралья научными учреждениями Челябинской области. В частности, в Челябинском НИИСХ в течение ряда лет проводились научно-исследовательские работы по экологическому испытанию различных по скороспелости сортов сои. Было выявлено, что в условиях Южного Зауралья при выращивании сои на семенные цели предпочтение необходимо отдавать скороспелым и раннеспелым сортам,

способным формировать урожай зерна на уровне 12–22 ц/га [5, с. 16].

Соя – довольно требовательная культура, для нормального развития ей необходимы оструктуренные, хорошо дренированные, богатые гумусом черноземные почвы со слабокислой реакцией почвенного раствора. Для завершения полного цикла вегетации скороспелым и раннеспелым сортам достаточно суммы активных (> 10 °C) температур 1600–2200 °C. Потребность в элементах питания у сои довольно высокая, особенно потребность в азоте. Для формирования 1 тонны семян соя использует 75–100 кг азота, 20–30 кг фосфора и 30–50 кг калия [1, с. 62]. Поэтому размещать сою на по чистых от сорной растительности полях. Хорошим предшественником для сои являются озимые культуры, идущие по чистым парам.

Методология и методы исследований (Methods)

Исследования проводились в многолетнем стационарном опыте, включенном в реестр длительных опытов Географической сети опытов с удобрениями. Изучение эффективности азотных удобрений проводилось в севообороте при традиционной, как наиболее эффективной в условиях лесостепных агроландшафтов, отвальной технологии, на разных фонах обеспеченности почвы подвижным фосфором, которые были достигнуты в результате длительного применения фосфорных удобрений в стационаре. За 25 лет прямого действия удобрений в севообороте в почву поступило 700 (P₁), 1400 (P₂) и 2100 (P₃) кг P₂O₅ на 1 га севооборотной площади. За счет этого содержание P₂O₅ возросло с 35–38 мг/кг на неудобренных фонах в начале опыта до 244–371 мг/кг на фоне P₃.

Таблица 1
Агрометеорологические условия за вегетационный период в лесостепи Южного Зауралья
(по данным Тимирязевской агрометеостанции (в 5 км от места исследований))

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С, по годам				Сумма осадков, мм, по годам			
	Средненого-летия	2020	2021	2022	Средненого-летия	2020	2021	2022
Май	11,6	14,6	18,6	11,0	38	15	24	70
Июнь	16,6	16,7	19,7	16,0	60	27	31	94
Июль	17,9	23,1	20,0	20,3	76	70	96	30
Август	15,5	17,9	20,4	19,8	57	121	5	15
Сентябрь	9,8	10,5	8,7	11,1	40	85	33	28
Средняя температура воздуха и сумма осадков за май – сентябрь	13,8	16,2	17,5	15,6	271	318	189	197
Сумма активных температур за вегетацию сои (25.05–30.09)	1897	2171	2216	2122	–	–	–	–
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1,3	1,2	0,8	1,0	–	–	–	–

Table 1
Agrometeorological conditions during the growing season in the forest-steppe of the Southern Trans-Urals (according to the Timiryazevskaya agrometeorological station (5 km from the research site))

Month	Average daily air temperature, °C, by years				The amount of precipitation, mm, on years			
	Long-term average	2020	2021	2023	Long-term average	2020	2021	2022
May	11.6	14.6	18.6	11.0	38	15	24	70
June	16.6	16.7	19.7	16.0	60	27	31	94
July	17.9	23.1	20.0	20.3	76	70	96	30
August	15.5	17.9	20.4	19.8	57	121	5	15
September	9.8	10.5	8.7	11.1	40	85	33	28
Average air temperature and amount of precipitation for May – September	13.8	16.2	17.5	15.6	271	318	189	197
The sum of active temperatures for the growing season of soybeans (25.05-30.09)	1897	2171	2216	2122	–	–	–	–
Hydrothermal Coefficient (HTC)	1.3	1.2	0.8	1.0	–	–	–	–

Почва под опытом – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный, характеризующийся на период закладки нейтральной реакцией почвенного раствора (рН = 6,0...6,3), средним содержанием гумуса (6,9 % по Тюрину), сравнительно высокой степенью насыщенности почвы основаниями ($S = 34$ мг-экв. / 100 г), средним содержанием подвижного фосфора по Чирикову ($P_2O_5 = 65...67$ мг/кг) и относительно высоким содержанием обменного калия.

В длительном стационарном опыте изучалось влияние систематического применения минеральных удобрений на урожай культур в зернопаротравяном севообороте с чередованием культур чистый пар – озимая рожь – горох (соя) – яровая пшеница – однолетние травы – ячмень. В данном севообороте учеными Челябинского НИИСХ определено место для размещения бобовой культуры после озимой ржи, которая признана самым оптимальным для условий лесостепи Южного Зауралья.

Минеральные удобрения вносятся в почву взброс под предпосевную культивацию.

Схема опыта факториальная – 0, N_1 , N_2 , N_3 , P_1 , P_2 , P_3 – и все их сочетания (4×4). Дозы удобрений в севообороте под озимую рожь – N_{30-90} , P_{30-90} , соя и горох – N_{20-60} , P_{20-60} , пшеницу – N_{30-90} , P_{30-90} , однолетние травы – N_{30-90} , P_{30-90} , ячмень – N_{40-120} , P_{40-120} . Пространственная реализация схемы осуществлялась в двух блоках, расчленяющих схему на определенное количество вариантов, с равной суммой эффектов в каждом блоке ($N_{14}P_{14}K_1$).

Повторность полей четырехкратная. Площадь элементарной делянки общая – 240 м², учетная – 114 м².

В исследованиях использовались следующие методики: гумус общий по Тюрину; сумма поглощенных оснований по Каппену – Гельковицу; рН потенциометрически; подвижный фосфор и обменных калий по Чирикову; белок в зерне гороха и сои по Кьельдалю; жир методом Сокслета.

Результаты (Results)

Многочисленными исследованиями, проведенными в различных регионах РФ, установлено, что одним из главных условий получения урожая зерна сои являются метеорологические условия ее выращивания. Так, в исследованиях А. П. Галиченко и Е. М. Фокиной [4, с. 46], проведенных во Всероссийском НИИ сои, выявлено, что в условиях достаточного увлажнения основное влияние на продуктивность сои оказывает сумма активных температур, в то время как в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области исследованиями Е. В. Гуревой [5, с. 28] установлено, что на комплекс хозяйственно ценных признаков сои существенное влияние оказывают как сумма активных температур, так и количество осадков.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований складывались по-разному. Наиболее теплообеспеченным были 2020 и 2021 годы. Среднегодовое значение суммы активных температур ($> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) за период вегетации сои составила $1897\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднесуточная температура воздуха была выше среднегодовой величины на $1,8\text{--}3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сумма активных температур $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в среднем за годы исследований составила 2170.

В 2020 году среднесуточная температура воздуха во все месяцы вегетационного периода была выше среднегодовой величины на $0,1\text{--}5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В 2021 году необычно высокая и стабильная температура воздуха установилась с мая по август на уровне $18,6\text{--}20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, и только в сентябре она снизилась до $8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Особенностью 2022 года явилось то, что в мае и июне было прохладно и температура опустилась ниже нормы.

По влагообеспеченности обилием выпавших осадков отличался 2020 год, когда за июнь – август выпало 191 мм, а с мая по сентябрь – 318 мм, что на 47 мм больше нормы. В 2021–2022 гг. за вегетационный период осадков выпало соответственно на 82 и 74 мм меньше среднегодового показателя (таблица 1).

Таким образом, естественные гидротермические ресурсы лесостепи Южного Зауралья, составляющие за теплый период с мая по сентябрь сумму активных ($> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур $1800\text{--}2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и осадков $190\text{--}300\text{ мм}$, позволяют формировать стабильную семенную продуктивность раннеспелых сортов сои на уровне $12\text{--}15\text{ ц/га}$.

Соя, как отмечалось выше, культура требовательная к реакции почвенного раствора, для нормального развития ей необходима почва с нейтральной или близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора. Многочисленными исследованиями, проведенными в различных регионах РФ, выявлено, что для нормального роста и развития сои реакцию почвенного раствора необходимо путем известкования довести до нейтральной или близкой к нейтральной [8, с. 45; 10, с. 39].

В условиях северного лесостепного агроландшафта Южного Зауралья определяющим фактором для получения урожая зерновых культур является обеспеченность почвы доступной влагой. При наличии влаги возрастает эффективность внесенных минеральных удобрений, при этом немаловажную роль играет обеспеченность почвы элементами питания, в первую очередь обеспеченность почвы подвижным фосфором [11, с. 240; 12, с. 48].

Исследования, проведенные в других регионах России, также показывают высокую эффективность применения минеральных удобрений, при этом прибавка зерна сои возрастает до 50 % [13, с. 75; 14, с. 71; 15, с. 68; 17, с. 20; 18, с. 10; 19, с. 12].

Урожайность семян сои на контрольном варианте составила $0,77\text{ т/га}$. На фоне последствия ранее внесенного фосфорного удобрения урожайность семян сои с увеличением содержания в почве подвижного фосфора возрастала, достигнув $0,96\text{ т/га}$ при содержании в почве фосфора на уровне 120 мг/кг почвы, при этом прибавка урожая составила $0,19\text{ т/га}$.

Внесение азотного удобрения на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором позволяло повысить урожайность семян сои на $0,21\text{--}0,43\text{ т/га}$ в зависимости от дозы азотного удобрения, причем с повышением дозы азотного удобрения прибавка изменялась незначительно.

Наибольшая урожайность семян сои ($1,26\text{ т/га}$) получена на фоне средней обеспеченности почвы фосфором и внесении 60 кг/га д. в. азотного удобрения. Максимальная окупаемость единицы азотного удобрения составила соответственно $15,0$ и $18,5\text{ кг}$ семян на единицу азотного удобрения при внесении минимальной дозы 20 кг/га д. в.

На фоне повышенной обеспеченности почвы подвижным фосфором прибавки урожая семян были ниже, соответственно, и окупаемость единицы азотного удобрения была в $1,5\text{--}2,0$ раза ниже, чем на фоне средней обеспеченности (таблица 2).

Расчеты корреляционной зависимости урожайности сои описываются уравнением регрессии $Y = a + b_1X + b_2Z$. Коэффициент регрессии для содержания подвижного фосфора и азотного удобрения составляет $0,41$ и $0,38$ соответственно, что характеризует эту зависимость как среднюю. При таких коэффициентах регрессии только треть урожая сои обусловлена содержанием в почве подвижного фосфора и внесением азотного удобрения.

Однако теория корреляции двух величин показывает, что степень сопряженности в вариации двух величин более точно измеряется коэффициентом детерминации (r^2). Коэффициенты детерминации показывают, что только 16 % изменчивости урожайности обусловлено изменчивостью уровня содержания в почве фосфора и 14 % – дозами внесенного азотного удобрения.

Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в посевах сои (среднее за 2020–2022 годы)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в слое почвы 0–30 см)					
	P_0 (60 мг/кг)		P_1 (80 мг/кг)		P_2 (120 мг/кг)	
	Урожай т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.
N_0	0,77	–	$\frac{0,83}{(0,06)}$	–	$\frac{0,96}{(0,19)}$	–
N_{20}	$\frac{1,07}{0,30}$	15,0	$\frac{1,20}{0,37}$	18,5	$\frac{1,20}{0,24}$	12,0
N_{40}	$\frac{0,79}{0,02}$	0,5	$\frac{1,18}{0,35}$	8,8	$\frac{1,21}{0,25}$	6,3
N_{60}	$\frac{0,98}{0,21}$	3,5	$\frac{1,26}{0,43}$	7,2	$\frac{1,18}{0,22}$	3,7
Среднее	$\frac{0,93}{0,16}$	4,0	$\frac{1,21}{0,38}$	9,5	$\frac{1,20}{0,24}$	6,0

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счет азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счет содержания P_2O_5 в почве.

Table 2

Efficiency of application of nitrogen fertilizers on different backgrounds P_2O_5 soil availability in soybean crops (average for 2020–2022)

Contributed nitrogen, kg/ha	The level of phosphorus nutrition (average content in 0–30 cm soil layer)					
	P_0 (60 mg/kg)		P_1 (80 mg/kg)		P_2 (120 mg/kg)	
	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit
N_0	0.77	–	$\frac{0.83}{(0.06)}$	–	$\frac{0.96}{(0.19)}$	–
N_{20}	$\frac{1.07}{0.30}$	15.0	$\frac{1.20}{0.37}$	18.5	$\frac{1.20}{0.24}$	12.0
N_{40}	$\frac{0.79}{0.02}$	0.5	$\frac{1.18}{0.35}$	8.8	$\frac{1.21}{0.25}$	6.3
N_{60}	$\frac{0.98}{0.21}$	3.5	$\frac{1.26}{0.43}$	7.2	$\frac{1.18}{0.22}$	3.7
Average	$\frac{0.93}{0.16}$	4.0	$\frac{1.21}{0.38}$	9.5	$\frac{1.20}{0.24}$	6.0

Note. Above the line – grain yield, t/ha; below the line – additional grain yield due to nitrogen, t/ha; in parentheses – additional grain yield due to the content of P_2O_5 in the soil.

Таким образом, при выращивании сои на семена ее необходимо размещать на полях с обеспеченностью почвы подвижным фосфором не ниже средней и с внесением стартовой дозы азотного удобрения.

Соя – культура белково-масличная, обычно среднее содержание белка в семенах современных сортов достигает 40 %. Особенностью белков сои является высокая концентрация в них лизина – незаменимой аминокислоты, острый дефицит которой имеется в большинстве растительных белков.

В наших исследованиях мы приводим общее содержание белка. Так, в результате анализа содержания белка в семенах сои, полученных в наших исследованиях, выявлено, что азотное удобрений повышает содержание белка, при этом с увеличением дозы азотного удобрений содержание белка возрастало с 31,6 % на контрольном варианте до 40,3 % при внесении 60 кг/га д. в. азота. Содержание жира,

напротив, под действием азотных удобрений снижалось: на контрольном варианте оно составило 25,5 %, при внесении азота в дозе 20 кг/га д. в. упало до 23,1 %, при дозе азота 40 – до 20,8 %, при дозе 60 – до 20,3 %.

Почвенный фосфор не оказывал никакого влияния на содержание белка и жира в семенах сои (таблица 3).

На рис. 1 наглядно представлена картина изменения содержания белка и жира от дозы азотного удобрения. Содержание белка растет по мере увеличения дозы азота, в то время как концентрация жира в семенах сои, наоборот, снижается (рис. 1).

Важными показателями, характеризующими эффективность применяемых удобрений, являются содержание элементов питания в урожае биомассы культур, общий их вынос и затраты на формирование единицы продукции.

Общий вынос основных элементов минерального питания растений сои при внесении азотных удобрений увеличивался как при внесении на естественном фоне, так и на фоне последействия. На фоне последействия остаточного фосфора вынос азота, фосфора и калия также возрастал, но в мень-

ших размерах. Затраты на формирование 1 т урожая сои: 58,5–64,4 кг азота, 15,1–18,1 кг фосфора, 39,3–42,5 кг калия. На фоне последействия фосфорных удобрений затраты азота на 1 т зерна снижались, фосфора, напротив, возрастали в 1,5 раза, а затраты калия были на уровне контрольного варианта.

Таблица 3

Влияние азотного удобрения и остаточного фосфора почвы на показатели качества семян сои (2020–2022 годы)

Вариант	Доза азота, кг/га д. в.	Содержание в почве P ₂ O ₅ , мг/кг	Содержание, %		Сбор, кг/га	
			Белка	Жиры	Белка	Жиры
0	–	60	31,6	25,5	243,3	196,4
N ₁	20	60	36,4	23,1	389,5	247,2
N ₂	40	60	40,3	20,8	318,4	164,3
N ₃	60	60	40,3	20,3	394,9	198,9
P ₁	–	80	31,4	24,6	273,2	214,0
P ₂	–	60	28,3	25,0	223,6	197,5
P ₃	–	120	32,5	24,4	312,0	234,2
N ₁ P ₁	20	80	34,5	23,9	414,0	286,8
N ₂ P ₂	40	60	35,0	22,0	420,0	264,0
N ₃ P ₃	60	120	39,4	21,5	464,9	253,7

Table 3

Effect of nitrogen fertilization and residual soil phosphorus on soybean seed quality scores (2020–2022)

Option	Dose of nitrogen, kg/ha a. i.	P2O5 content in soil, mg/kg	Content, %		Collection, kg/ha	
			Protein	Fat	Protein	Fat
0	–	60	31.6	25.5	243.3	196.4
N ₁	20	60	36.4	23.1	389.5	247.2
N ₂	40	60	40.3	20.8	318.4	164.3
N ₃	60	60	40.3	20.3	394.9	198.9
P ₁	–	80	31.4	24.6	273.2	214.0
P ₂	–	60	28.3	25.0	223.6	197.5
P ₃	–	120	32.5	24.4	312.0	234.2
N ₁ P ₁	20	80	34.5	23.9	414.0	286.8
N ₂ P ₂	40	60	35.0	22.0	420.0	264.0
N ₃ P ₃	60	120	39.4	21.5	464.9	253.7

Таблица 4

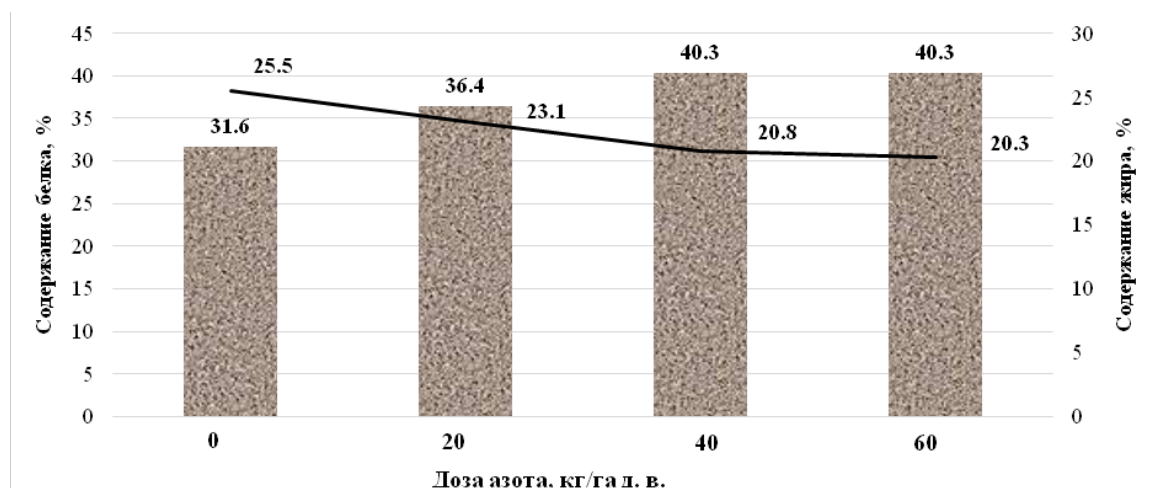


Рис. 1. Динамика изменения показателей качества семян сои в зависимости от дозы азотного удобрения

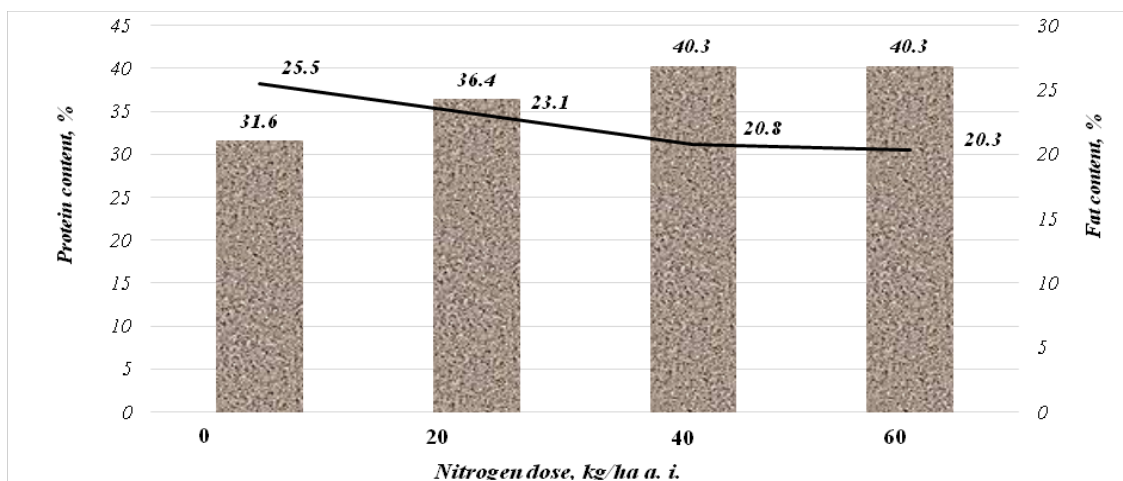


Fig. 1. Dynamics of changes in soybean seed quality indicators depending on the doses of nitrogen fertilizer

Вынос основных макроэлементов питания растениями сои в зависимости от доз азотного удобрения и запасов подвижного фосфора почвы

Вариант	Общий вынос, кг/га			Вынос 1 т зерна, кг		
	N	P	K	N	P	K
0	36,6	12,2	32,5	52,3	17,4	46,4
N ₁	64,4	19,9	46,7	58,5	18,1	42,5
N ₂	51,5	12,4	31,4	64,4	15,5	39,3
N ₃	62,1	15,1	39,7	62,1	15,1	39,7
P ₁	47,7	16,2	38,7	53,0	18,0	43,0
P ₂	43,0	16,0	35,8	53,8	20,0	44,8
P ₃	31,6	19,8	43,9	31,6	19,8	43,9
N ₁ P ₁	41,2	22,0	54,5	34,3	18,3	45,4
N ₂ P ₂	42,1	22,8	50,5	35,1	19,0	42,1
N ₃ P ₃	65,9	25,1	50,9	54,9	20,9	42,4

Table 4
Removal of the main macronutrients by soybean plants depending on the doses of nitrogen fertilizer and reserves soil mobile phosphorus

Option	Total removal, kg/ha			Removal of 1 ton of grain, kg		
	N	P	K	N	P	K
0	36.6	12.2	32.5	52.3	17.4	46.4
N ₁	64.4	19.9	46.7	58.5	18.1	42.5
N ₂	51.5	12.4	31.4	64.4	15.5	39.3
N ₃	62.1	15.1	39.7	62.1	15.1	39.7
P ₁	47.7	16.2	38.7	53.0	18.0	43.0
P ₂	43.0	16.0	35.8	53.8	20.0	44.8
P ₃	31.6	19.8	43.9	31.6	19.8	43.9
N ₁ P ₁	41.2	22.0	54.5	34.3	18.3	45.4
N ₂ P ₂	42.1	22.8	50.5	35.1	19.0	42.1
N ₃ P ₃	65.9	25.1	50.9	54.9	20.9	42.4

Таблица 5

Продуктивность зернопаротравяного севооборота без применения удобрений составила 1,84 т/га зерн. ед., за счет последствия ранее внесенных фосфорных удобрений продуктивность возросла на 0,20–0,37 т/га зерн. ед. Максимальная продуктивность севооборота (2,67 т/га зерн. ед.)

получена на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором и внесении 75 кг/га севооборотной площади азота, а наибольшая окупаемость единицы азотного удобрения (20,4 кг зерн. ед.) получена на этом же фоне, но при минимальной дозе (таблица 5).

Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в зернопаротравяном севообороте с соей (за 2020–2022 годы)

Агротехнологии

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в слое почвы 0–30 см)					
	P_0 (60 мг/кг)		P_1 (80 мг/кг)		P_2 (120 мг/кг)	
	Урожай т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.
N_0	1,84	–	$\frac{2,04}{(0,20)}$	–	$\frac{2,21}{(0,37)}$	–
N_{25}	$\frac{2,09}{0,25}$	10,0	$\frac{2,55}{0,51}$	20,4	$\frac{2,52}{0,31}$	12,4
N_{50}	$\frac{2,01}{0,17}$	4,3	$\frac{2,45}{0,41}$	8,2	$\frac{2,65}{0,44}$	8,8
N_{75}	$\frac{2,03}{0,19}$	2,5	$\frac{2,67}{0,63}$	8,4	$\frac{2,64}{0,43}$	5,7
Среднее	$\frac{2,04}{0,20}$	4,0	$\frac{2,56}{0,52}$	10,4	$\frac{2,60}{0,39}$	7,8

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счет азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счет содержания P_2O_5 в почве.

Table 5

Efficiency of application of nitrogen fertilizers against different backgrounds of P_2O_5 availability of soil in grain-fallow crop rotation with soybeans (for 2020–2022)

Contributed nitrogen, kg/ha	The level of phosphorus nutrition (average content in 0–30 cm soil layer)					
	P_0 (60 mg/kg)		P_1 (80 mg/kg)		P_2 (120 mg/kg)	
	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit
N_0	1.84	–	$\frac{2.04}{(0.20)}$	–	$\frac{2.21}{(0.37)}$	–
N_{25}	$\frac{2.09}{0.25}$	10.0	$\frac{2.55}{0.51}$	20.4	$\frac{2.52}{0.31}$	12.4
N_{50}	$\frac{2.01}{0.17}$	4.3	$\frac{2.45}{0.41}$	8.2	$\frac{2.65}{0.44}$	8.8
N_{75}	$\frac{2.03}{0.19}$	2.5	$\frac{2.67}{0.63}$	8.4	$\frac{2.64}{0.43}$	5.7
Average	$\frac{2.04}{0.20}$	4.0	$\frac{2.56}{0.52}$	10.4	$\frac{2.60}{0.39}$	7.8

Note. Above the line – grain yield, t/ha; below the line – additional grain yield due to nitrogen, t/ha; in parentheses – additional grain yield due to the content of P_2O_5 in the soil.

Таблица 6

Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в зернопаротравяном севообороте с горохом (за 2020–2022 гг.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в слое почвы 0–30 см)					
	P_0 (60 мг/кг)		P_1 (80 мг/кг)		P_2 (120 мг/кг)	
	Урожай т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.	Урожай, т/га зерн. ед.	На 1 кг азота, кг зерн. ед.
N_0	1,92	–	$\frac{2,14}{(0,22)}$	–	$\frac{2,29}{(0,37)}$	–
N_{25}	$\frac{2,14}{0,22}$	8,8	$\frac{2,61}{0,47}$	18,8	$\frac{2,56}{0,27}$	10,8
N_{50}	$\frac{2,08}{0,16}$	3,2	$\frac{2,50}{0,36}$	7,2	$\frac{2,70}{0,41}$	8,2
N_{75}	$\frac{2,08}{0,16}$	2,1	$\frac{2,72}{0,58}$	7,7	$\frac{2,70}{0,41}$	5,5
Среднее	$\frac{2,10}{0,18}$	3,6	$\frac{2,61}{0,47}$	9,4	$\frac{2,65}{0,36}$	7,2

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

Table 6

Efficiency of application of nitrogen fertilizers against different backgrounds of P_2O_5 soil availability in grain-grass crop rotation with peas (for 2020–2022)

Contributed nitrogen, kg/ha	The level of phosphorus nutrition (average content in 0–30 cm soil layer)					
	P_0 (60 mg/kg)		P_1 (80 mg/kg)		P_2 (120 mg/kg)	
	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit	Yield t/ha grain unit	Per 1 kg of nitrogen, kg grain unit
N_0	1.92	–	$\frac{2.14}{(0.22)}$	–	$\frac{2.29}{(0.37)}$	–
N_{25}	$\frac{2.14}{0.22}$	8.8	$\frac{2.61}{0.47}$	18.8	$\frac{2.56}{0.27}$	10.8
N_{50}	$\frac{2.08}{0.16}$	3.2	$\frac{2.50}{0.36}$	7.2	$\frac{2.70}{0.41}$	8.2
N_{75}	$\frac{2.08}{0.16}$	2.1	$\frac{2.72}{0.58}$	7.7	$\frac{2.70}{0.41}$	5.5
Average	$\frac{2.10}{0.18}$	3.6	$\frac{2.61}{0.47}$	9.4	$\frac{2.65}{0.36}$	7.2

Note. Above the line – grain yield, t/ha; below the line – additional grain yield due to nitrogen, t/ha; in parentheses – additional grain yield due to the content of P_2O_5 in the soil.

Сравнительная оценка зернопаротравяного севооборота с горохом показала одинаковую продуктивность с севооборотом с соей. Закономерности, выявленные в севооборотах, как по выходу зерновых единиц, так и по окупаемости единицы азотного удобрения равнозначны. Разница между севооборотами составляет менее 5 %, что говорит о большой сходимости результатов исследований (таблица 6).

Однако если оценивать севообороты по выходу белка и жира, то севооборот с соей имеет несомненное преимущество: по выходу белка с севооборотной площади севооборота равноценны, но включение в севооборот сои дает ей несомненное преимущество из-за дополнительного выхода жира. Следует заметить, что в мировом растениеводстве производство этой культуры развивается очень динамично, что вызвано возрастающим спросом на растительное масло [20, с. 205; 21, с. 15; 22, с. 7; 23, с. 16].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Азотное удобрение на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором позволяло повысить урожайность семян сои на 0,21–0,43 т/га в зависимости от дозы, причем с повышением дозы прибавка изменялась незначительно.

Внесение азотного удобрения повышает содержание белка, при этом с увеличением дозы азотного удобрения содержание белка возрастало с 31,6 % на контрольном варианте до 40,3 % при внесении 60 кг/га д. в. азота, а содержание жира под действие азотных удобрений снижалось с 25,5 до 20,3 %;

Включение в зернопаротравяной севооборот вместо гороха новой для условий лесостепи Южного Зауралья бобовой культуры – сои – является оправданным за счет получения ценного продукта – масла.

Библиографический список

1. Соя / Под ред. Ю. П. Мякушко, В. Ф. Баранова. Москва: Колос, 1984. 332 с.
2. Башкатов А. Я., Минченко Ж. Н., Стифеев А. И. Современные технологии возделывания сои: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 188 с.
3. Шарипова Г. Ф., Колесар В. А., Сафин Р. И. Эффективность применения удобрений с микроэлементами на различных сортах сои // Плодородие. 2020. № 3. С. 9–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.114.02.
4. Петрова А. Н., Калицкая Н. Г. Оценка в условиях Амурской области коллекционных образцов сои различного эколого-географического происхождения // Вестник КрасГАУ. 2020. № 9. С. 46–52. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52.
5. Галиченко А. П., Фокина Е. М. Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои // Аграрный вестник Урала. 2022. № 7 (222). С. 16–25. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-222-07-16-25.
6. Гуреева Е. В. Влияние метеорологических условий на хозяйственно ценные признаки сои // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31.
7. Шаталина Л. П., Карпинская О. Н., Прядун Ю. П. Изучение элементов технологии возделывания сои на зерно и зеленую массу // Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 4 (72). С. 105–108.

8. Гуреева Е. В., Гвоздев В. А., Овсянникова М. В., Маркова В. Е. Влияние известкования на урожайность и качество зерна сои в условиях Рязанской области // Орошаемое земледелие. 2021. № 1. С. 48–51. DOI: 10.35809/2618-8279-2021-1-8.
9. Иванов А. И., Конашенков А. А., Воробьев В. А., Иванова Ж. А., Вязовский А. А., Петров И. И. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // Агротехнический вестник. 2019. № 6. С. 3–9. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10081.
10. Гладышева О. В., Свирина В. А., Артюхова О. А. Изменение плодородия почвы и продуктивности севооборота при длительном применении минеральных удобрений с известкованием // Плодородие. 2021. № 1 (118). С. 27–29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08.
11. Юмашев Х. С., Захарова И. А. Влияние минеральных удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и продуктивность культур севооборота // Материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями. Москва, 2022. С. 237–252.
12. Волынкина О. В. Длительность последствий минеральных удобрений в опыте Курганского НИИСХ // Агрохимия. 2023. № 4. С. 44–50. DOI: 10.31857/S0002188123040154.
13. Yuzbashkandi S. S., Khalilan S. On Projecting Climate Change Impacts on Soybean Yield in Iran: an Econometric Approach // Environmental Processes. 2020. No. 7. Pp. 73–87.
14. Гладышева О. В., Свирина В. А., Черногаев В. Г. Длительное воздействие минеральных удобрений на питательный режим почвы и урожайность сои // Плодородие. 2022. № 6. С. 70–72. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.18.
15. Аканова Н. И., Козлова А. В., Фокин С. А., Солнцев П. И. Эффективность применения магниевых удобрений при возделывании сои на различных типах почв // Плодородие. 2022. № 5. С. 55–60. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.14.
16. Nazia R., Liang F., Huang S., Wang B., Xu V., Li J., Gao H., Zhang W. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China // Journal of Animal and Plant Sciences. 2019. Vol. 29. Iss. 5. Pp. 1383–1389.
17. Liu L., Hua W., Zhang S.-Y., Peng Q.-C., Dai J., Han X.-R. Nitrogen up take of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of northeast China // American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology. 2020. Vol. 26. Iss. 1. Pp. 10–18.
18. Шаповалова Н. Н. Динамика показателей плодородия и продуктивность чернозема обыкновенного в последствии длительного применения минеральных удобрений в условиях Центрального Предкавказья // Известия Оренбургского ГАУ. 2019. № 3 (77). С. 8–12.
19. Макаров М. Р., Макаров В. М. Влияние минеральных удобрений на урожайность семян сои в условиях северо-востока ЦЧЗ [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2023. № 3. URL: <https://web.snauka.ru/issjues/2023/03/100106> (дата обращения: 07.06.2023).
20. Синеговский М. О. Современное состояние и перспективы исследований сои // Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения выдающегося селекционера кандидата биологических наук Лидии Карповны Малыш. Благовещенск, 2020. С. 211.
21. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Мониторинг плодородия чернозёмных почв Южного Зауралья: монография. Челябинск: Изд-во Челябинского университета, 2023. 121 с.
22. Агеев А. А., Анисимов А. А., Анисимов Ю. Б. [и др.] Рекомендации семинара по возделыванию зерновых и зернобобовых культур, посвящённых 85-летию селекции яровой пшеницы и 45-летию селекции ярового ячменя в ФГБНУ «Челябинский НИИСХ». Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. 73 с.
23. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Изменение гумусного состояния черноземных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.

Об авторах:

Харис Садрейвич Юмашев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0000-0002-0911, AuthorID 487280. E-mail: chniisx2@mail.ru

Ирина Александровна Захарова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0000-0002-5770, AuthorID 965725. E-mail: chniisx2@mail.ru

Владимир Яковлевич Крамаренко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Челябинская обл., п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0009-0002-5887-8142, AuthorID 618056. E-mail: chniisx2@mail.ru

References

1. Soy / Under the editorship of Yu. P. Myakushko, V. F. Baranov. Moscow: Kolos, 1984. 332 p. (In Russ.)
2. Bashkatov A. Ya., Minchenko Zh. N., Stifeyev A. I. Modern technologies of soybean cultivation: a textbook for universities. Saint Petersburg: Lan', 2022. 188 p. (In Russ.)
3. Sharipova G. F., Kolesar V. A., Safin R. I. Efficiency of application of fertilizers with microelements on various varieties of soy. *Plodorodie*. 2020; 3: 9–12. DOI: 10.25680/S19948603.2020.114.02. (In Russ.)
4. Petrova A. N., Kalitskaya N. G. The assessment of the collection samples of soybean of various ecological and geographical origins in the conditions of the Amur region *Bulletin of KrasGAU*. 2020; 9: 46–52. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-46-52. (In Russ.)
5. Galichenko A. P., Fokina E. M. Meteorological effects in formation of the yield of soybean varieties bred by ARSRI of soybean. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 07 (222): 16–25. (In Russ.)
6. Gureeva E. V. Influence of meteorological conditions on economically valuable traits of soybeans. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021; 1: 28–31. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/28-31. (In Russ.)
7. Shatalina L. P., Karpinskaya O. N., Pryadun Yu. P. Studying the elements of soybean cultivation technology for grain and green mass. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2018; 4 (72): 105–108. (In Russ.)
8. Gureeva E. V., Gvozdev V. A., Ovsyannikova M. V., Markova V. E. Influence of lime on yield and quality of soy bean grain in the conditions of the Ryazan region. *Irrigated Agriculture*. 2021; 1: 48–51. DOI: 10.35809/2618-8279-2021-1-8. (In Russ.)
9. Ivanov A. I., Konashenkov A. A., Vorob'yev V. A., Ivanova Zh. A., Vyazovskiy A. A., Petrov I. I. Topical issues of liming acid soils of Non-Chernozem zone. *Agrochemical Herald*. 2019; 6: 3–9. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10081. (In Russ.)
10. Gladysheva O. V., Svirina V. A., Artyukhova O. A. Fertility change of soil and crop productivity under the long-term application of mineral fertilizers and lime ameliorants. *Plodorodie*. 2021; 1 (118): 27–29. DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.08. (In Russ.)
11. Yumashev Kh. S., Zakharova I. A. The influence of mineral fertilizers on the fertility of leached chernozem and the productivity of crop rotation. *Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry and the 80th anniversary of the Geographical Network of Experiments with Fertilizers*. Moscow, 2022. Pp. 237–252. (In Russ.)
12. Volynkina O. V. The duration of the aftereffect of mineral fertilizers in the experience of the Kurgan Research Institute of Agriculture. *Agrochemistry*. 2023; 4: 44–50. DOI: 10.31857/S0002188123040154. (In Russ.)
13. Yuzbashkandi S. S., Khalilan S. On Projecting Climate Change Impacts on Soybean Yield in Iran: an Econometric Approach. *Environmental Processes*. 2020; 7: 73–87.
14. Gladysheva O. V., Svirina V. A., Chernogayev V. G. Long-term effect of mineral fertilizers on the nutrient regime of dark gray forest soil and soybean yield. *Plodorodie*. 2022; 6: 70–72. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.18. (In Russ.)
15. Akanova N. I., Kozlova A. V., Fokin S. A., Solntsev P. I. The effectiveness of the use of magnesium fertilizers in the cultivation of soybean on various types of soils. *Plodorodie*. 2022; 5: 55–60. DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.14. (In Russ.)
16. Nazia R., Liang F., Huang S., Wang B., Xu V., Li J., Gao H., Zhang W. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2019; 29 (5): 1383–1389.
17. Liu L., Hua W., Zhang S.-Y., Peng Q.-C., Dai J., Han X.-R. Nitrogen up take of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of northeast China. *American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology*. 2020; 26 (1): 10–18.
18. Shapovalova N. N. Dynamics of fertility indicators and productivity of ordinary chernozem in the aftereffect of long-term use of mineral fertilizers in the conditions of the Central Ciscaucasia. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2019; 3 (77): 8–12. (In Russ.)
19. Makarov M. R., Makarov V. M. Influence of mineral fertilizers on the yield of soybean seeds in the conditions of the northeast of the CCR. *Electronic scientific & practical journal "Modern scientific researches and innovations"* [Internet]. 2023 [cited 2023 Jun 07]; 3. Available from: <https://web.snauka.ru/issues/2023/03/100106>. (In Russ.)
20. Sinegovskiy M. O. Current state and prospects for soybean research. *Collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of*

the birth of the outstanding breeder, candidate of biological sciences Lidia Karpovna Malysh. Blagoveshchensk, 2020. 254 p. (In Russ.)

21. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Monitoring the fertility of chernozem soils in the Southern Trans-Urals: monograph. Chelyabinsk: Publishing house of the Chelyabinsk State University, 2023. 121 p. (In Russ.)

22. Ageev A. A., Anisimov A. A., Anisimov Yu. B. et al. Recommendations of a seminar on the cultivation of grain and leguminous crops dedicated to the 85th anniversary of the selection of spring wheat and the 45th anniversary of the selection of spring barley at the Chelyabinsk Research Institute of Agriculture. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, 2022. 73 p. (In Russ.)

23. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Chernozem humus state change of the chelyabinsk region as an agricultural use result. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 2 (179): 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russ.)

Authors' information:

Kharis S. Yumashev, candidate of agricultural sciences, leading researcher, laboratory of agrochemistry, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0000-0002-0911, AuthorID 487280. *E-mail: chniisx2@mail.ru*

Irina A. Zakharova, candidate of biological sciences, leading researcher, laboratory of agrochemistry, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0000-0002-5770, AuthorID 965725. *E-mail: chniisx2@mail.ru*

Vladimir Yu. Kramarenko, candidate of agricultural sciences, leading researcher, laboratory of agrolandscape agriculture, Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Chelyabinsk region, settlement Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0009-0002-5887-8142, AuthorID 618056. *E-mail: chniisx2@mail.ru*