
АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

**Влияние биопрепаратов на ассимиляцию азота
яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в стрессовых
условиях выращивания**

**Инга Ивановна Серегина[✉], Сергей Леонидович Белопухов,
Майя Анка**

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

[✉]**Автор, ответственный за переписку:** iseregina@rgau-msha.ru

Аннотация

В статье приведены исследования, посвященные изучению влияния биопрепаратов на ассимиляцию азота растениями яровой мягкой пшеницы при выращивании в стрессовых условиях, возникающих в результате дефицита или избытка влаги в почве. Известно, что в последние годы проявляется тенденция увеличения площадей пахотных земель Российской Федерации, подверженных действию засух, а также периодическому затоплению и переувлажнению, что наносит существенный ущерб сельскохозяйственному производству. В данном аспекте вопросы поиска стратегий снижения негативного действия стрессовых реакций, вызванных воздействием недостатка влаги в почве или ее переувлажнения, имеют большое практическое и экологическое значение и высокую актуальность. Целью исследований являлось изучение влияния биопрепаратов на ассимиляцию азота в растениях яровой пшеницы двух разных сортов при моделировании стрессовых условий водообеспечения. Растения яровой пшеницы сортов Злата и Радмира выращивали в вегетационных условиях с использованием модификации почвенная культура. Для исследований использовали почву урбанозем типичный легкосуглинистый, взятую с полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Установлено адаптивное действие биопрепаратов при дефиците влаги в почве на процессы поступления азота в растения и размеры ассимиляции азота в зерне пшеницы, что обуславливает способность яровой мягкой пшеницы противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды. Выявлено положительное действие изучаемых препаратов на процессы поступления и ассимиляции азота в растениях яровой мягкой пшеницы сортов Злата и Радмира. Эффективность биопрепаратов в различных стрессовых условиях водного обеспечения зависела от их химического состава и способа применения. Показано, что наибольшая адаптивная способность биопрепаратов проявилась в условиях засухи в критический период развития растений пшеницы обоих сортов. Применение биопрепаратов обеспечило лучшие условия для поступления азота в растения и активизацию процессов ассимиляции азота в растениях. Это способствует проявлению адаптационных реакций в растениях, обуславливая способность яровой пшеницы противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды.

Ключевые слова

яровая мягкая пшеница, биопрепараты, содержание азота в зерне пшеницы, вынос азота с урожаем зерна, ассимиляция азота

Благодарности

Исследования выполнены за счет средств программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лордства «Приоритет 2030».

Для цитирования

Серегина И.И., Белопухов С.Л., Анка М. Влияние биопрепаратов на ассимиляцию азота яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в стрессовых условиях выращивания // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2026. № 3. С. 5–19.

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, ECOLOGY

Effect of biopreparations on nitrogen assimilation in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under stressful growing conditions

Inga I. Seregina[✉], Sergey L. Belopukhov, Maya Anka

Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

[✉]Corresponding author: seregina.i@inbox.ru

Abstract

The article presents studies on the effect of biopreparations on nitrogen assimilation in spring soft wheat plants grown under stressful conditions resulting from either water deficit or excess soil moisture. It is known that recent years have seen a tendency towards an increase in the area of arable land in the Russian Federation affected by droughts, as well as periodic flooding and waterlogging, which significantly damage agricultural production. In this regard, the search for strategies to mitigate the negative effects of stress responses induced by either water deficit or waterlogging is of great practical and environmental significance and remains highly relevant. The aim of the study was to investigate the effect of biopreparations on nitrogen assimilation in two different spring wheat varieties under simulated water supply stress conditions. Spring wheat plants of the varieties Zlata and Radmira were grown under controlled vegetation conditions using a modified soil culture technique. The soil used was typical light loamy urbanozem, collected from the field experimental station of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. An adaptive effect of biopreparations was established under water deficit conditions, influencing nitrogen uptake by plants and the extent of nitrogen assimilation in wheat grain, thereby enhancing the ability of spring soft wheat to withstand adverse environmental conditions. A positive effect of the studied preparations on nitrogen uptake and assimilation processes in spring soft wheat plants varieties Zlata and Radmira was revealed. The effectiveness of biopreparations under various water supply stress conditions depended on their chemical composition and application method. It was shown that the greatest adaptive capacity of biopreparations was manifested under drought conditions during the critical period of plant development in both wheat varieties. The application of biopreparations provided optimal conditions for nitrogen uptake by plants and enhanced nitrogen assimilation processes, thereby promoting adaptive responses in plants and increasing the ability of spring wheat to withstand adverse environmental conditions.

Keywords

spring soft wheat, biopreparations, nitrogen content in wheat grain, nitrogen yield, nitrogen assimilation

Acknowledgments

The research was carried out with the support of the University Development Program as part of the “Priority 2030” Strategic Academic Leadership Program.

For citation

Seregina I.I., Belopukhov S.L., Anka M. Effect of biopreparations on nitrogen assimilation in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under stressful growing conditions. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2026;(3):5–19.

Введение Introduction

В период вегетации растений могут происходить неконтролируемые изменения метеорологических условий, приводящие к снижению продуктивности растений. По результатам оценки климатических показателей и наблюдения среднесезонных данных установлено, что изменения климата, проявляющиеся повышением среднегодовых температур, возникают вследствие дисбаланса парниковых газов в атмосфере. Помимо этого, происходит уменьшение осадков или их отсутствие в течение вегетационного периода. Все эти процессы являются причиной повышения температуры воздуха, помимо снижения влажности почвы, что в свою очередь приводит к стрессовым реакциям растений, отрицательно действуя на их рост, и, следовательно, к снижению их продуктивности. Проблема низкой влажности почв широко распространена во всем мире, а на территории Российской Федерации более половины посевных площадей подвержено явлениям недостаточного и нестабильного увлажнения. Наиболее сильные засухи, связанные с изменением природных факторов, наблюдались в 1972, 2000, 2003, 2009 и 2010 гг., вызывая существенные колебания состояния почвы, в том числе ее микробиологической активности, а также доступности необходимых для растений питательных веществ. В случаях, когда растение в течение длительного времени страдает от острой нехватки почвенной влаги, происходят значительные потери урожайности сельскохозяйственных культур [1–8].

Наряду с территориями, подверженными недостатку влаги в почве, довольно часто земли сельскохозяйственного назначения подвергаются переувлажнению и затоплению. Многие исследования выявили угнетение роста и развития растений, выращиваемых в условиях переувлажнения почвы, и потери продуктивности этих растений. По оценкам Международной организации ФАО [9], около 20% посевных площадей в Российской Федерации ежегодно подвергаются заметному снижению урожайности ввиду проблем частичного или полного затопления, и это наблюдается в регионах Сибири, на Северо-западе и Дальнем Востоке. Большие территории Нечерноземной зоны часто характеризуются нестабильностью условий водообеспечения. При этом посевы сельскохозяйственных культур этой зоны в отдельные годы испытывают стресс, вызванный засухой различной продолжительности, а также стресс, вызванный переувлажнением почв или даже затоплением [1, 8, 10].

По данным Росгидромета, в Нечерноземной зоне периодичность избыточного увлажнения и переувлажнения во время вегетации растений составляет 25–40%, засушливых условий – 12–20% [1, 10]. Исследования показывают, что почти 1/3 площадей пахотных земель подвержена действию засух. В последние годы проявляется тенденция их увеличения, что наносит существенный ущерб сельскохозяйственному производству [1, 4]. В данном аспекте вопросы поиска стратегий снижения негативного действия стрессовых реакций, вызванных воздействием недостатка влаги в почве или ее переувлажнения, остаются актуальными.

Еще в середине прошлого столетия было изучено неблагоприятное действие биотических факторов окружающей среды на растительные организмы, в результате чего в растениях проявляются индивидуальные или многозадачные адаптивные механизмы. В научных исследованиях отмечено, что активизация адаптивных механизмов

в растениях может происходить при участии различных антиоксидантов, составляющих антиоксидантную систему растений [11]. К антиоксидантам относят различные ферменты растений, фенольные соединения, микроэлементы, физиологически активные вещества и т.д., оказывающие существенное влияние на синтез активных форм кислорода, реакции перекисного окисления липидов в клетках и тканях растений, что способствует реализации адаптивных способностей растений и повышению их устойчивости к стрессовым воздействиям [11, 12].

В настоящее время наиболее значимым аспектом современной науки является поиск агротехнических методов повышения устойчивости производства продукции растениеводства. Оценка эффективности отдельных приемов выращивания выполняется относительно не только уровня урожайности, но и интенсивности процессов поступления и ассимиляции азота сельскохозяйственными культурами.

Одним из технологических приемов сельскохозяйственного производства для повышения адаптивности растений является применение биопрепаратов, которые отличаются небольшим расходом действующего вещества при использовании, а также характеризуются разнообразным составом [13]. Биопрепараты растительного или микробного состава могут применяться в качестве защиты растений, а также для стимулирования роста растений или регулирования отдельных сигнальных систем в клетках растений, создавая их адаптивный статус определенного уровня, что позволяет снизить негативное действие неблагоприятных условий выращивания [12, 14]. Применение биопрепаратов стимулирует ростовые процессы растений, что способствует ускорению перехода растений в следующую фенологическую фазу. В результате воздействия биопрепаратов в качестве стимуляторов роста растения избегают негативного воздействия периодически возникающих водных стрессов, что обуславливает не только увеличение устойчивости растений, но и сохранение репродуктивной сферы яровой пшеницы. Все эти механизмы позволяют сохранить урожайность растений или снизить стрессовое воздействие на процессы ее формирования [13, 15].

Цель исследований: изучение влияния биопрепаратов на содержание азота в зерне и вынос азота с урожаем зерна яровой пшеницы разных сортов в стрессовых условиях водного обеспечения.

Методика исследований

Research method

Объектом исследований являлась яровая мягкая пшеница сортов Злата и Радымира. Исследования проводили в 2023–2024 гг. Растения выращивали в почвенной культуре вегетационных исследований в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Методика исследований соответствовала общепринятым требованиям [16]. Почва урбанозем типичный легкосуглинистый характеризуется следующими агрохимическими показателями: содержание органического вещества – 2,8% [17]; pH_{KCl} – 4,8 [18]; Нг – 2,5 мг-экв/100 г почвы [19]; S – 19,8 мг-экв/100 г почвы [20]; V – 88,8%. Обеспеченность основными элементами питания: N_{штг} – 92,5 мг/кг почвы [21, 22]; P₂O₅ – 70 мг/кг почвы (III класс) [23]; K₂O – и 27 мг/кг почвы (1 класс) [23]. Агрохимический анализ почвы проводили по общепринятым методикам [24].

В исследованиях создавали стрессовые условия водного обеспечения растений путем регулирования полива: оптимальное водообеспечение, дефицит влаги в почве и переувлажнение почвы. Условия оптимального водообеспечения моделировали путем полива сосудов по массе до ПВ 60% в течение всего вегетационного периода. Условия дефицита влаги почве создавали прекращением полива в фазу выхода в трубку. Условия переувлажнения создавали в результате переизбытка влаги в почве при поливе.

Продолжительность периодов стрессовых воздействий составляла 5 суток. В качестве биопрепаратов использовали Бидукс [25] и органоминеральный биопрепарат [26]. Биопрепараты вносили двумя способами: предпосевной обработкой семян (ПОС) и опрыскиванием вегетирующих растений (ОВР) растворами с концентрацией 1 мг биопрепарата на 1 л воды. Контролем являлись варианты без применения биопрепаратов. Посев яровой мягкой пшеницы осуществлялся по 30 шт. семян в каждый сосуд. После достижения растениями фазы кущения проводили прореживание до 20 шт.

При закладке опыта вносили удобрения, предоставленные АО ФосАгро, азофоску (15:15:15) и аммонийную селитру (35%) для создания условий минерального питания из расчета $N_{150}P_{100}K_{100}$ [16].

Схема опытов представлена в таблице 1.

После уборки урожая в зерне пшеницы определяли содержание общего азота и рассчитывали вынос азота с урожаем зерна по принятым методикам [16].

Статистическая обработка полученных данных произведена с использованием однофакторного метода дисперсионного анализа [16].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты влияния биопрепаратов на содержание и вынос азота с урожаем яровой пшеницы в различных условиях водного обеспечения представлены на рисунках 1а, 1б, 2а, 2б.

Показано, что при оптимальном водообеспечении растений содержание азота в зерне пшеницы сортов Злата и Радмира возрастало при использовании биопрепаратов. При применении обработки семян перед посевом и при опрыскивании растений препаратом Биодукс содержание азота в зерне пшеницы сорта Злата возросло в 1,05 и 1,06 раза соответственно по сравнению с контролем (рис. 1а). Использование ОМБ способствовало увеличению содержания азота в 1,06 и 1,12 раза соответственно.

Условия окружающей среды, особенно водный режим почвы, оказывали существенное влияние на размеры поглощения азота растениями и эффективность его ассимиляции при формировании продуктивности. Недостаток, так же, как и избыток влаги в почве, вызывал изменение физиологических процессов, обуславливая при этом проявление окислительных реакций, что приводило к уменьшению процессов усвоения элементов питания растениями.

В условиях краткосрочного засушливого периода содержание азота в зерне увеличилось во всех вариантах опыта. В контрольном варианте показано увеличение содержания общего азота в 1,06 раза по сравнению с вариантом, где для растений создавали благоприятный водный режим выращивания. В то же время в условиях засухи произошло снижение массы зерна, что было показано в ранее опубликованной работе [27]. Изучаемые биопрепараты обеспечили возрастание содержания азота в 1,04 и 1,09 раза при применении препарата Биодукс и в 1,30 и 1,18 раза при применении препарата ОМБ.

В условиях краткосрочного переувлажнения почвы применением препарата Биодукс содержание азота составило 2,88% при обработке семян и 2,58% при опрыскивании вегетирующих растений против 2,35% в контрольном варианте. При использовании ОМБ содержание азота в зерне пшеницы составило 2,46 и 2,62% соответственно.

Таким образом, содержание азота в зерне пшеницы сорта Злата в стрессовых условиях выращивания зависело от технологии применения биопрепаратов. При дефиците влаги в почве наибольшее содержание азота в зерне пшеницы наблюдалось при опрыскивании растений в период вегетации органоминеральным биопрепаратом.

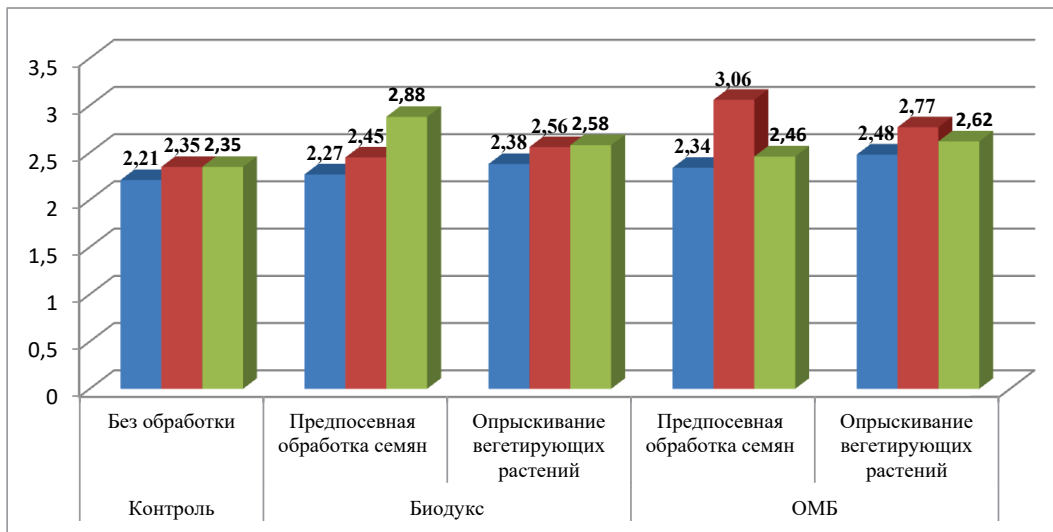
Таблица 1

Схема опытов (2023–2024 гг.)

Table 1

Experimental design (2023–2024)

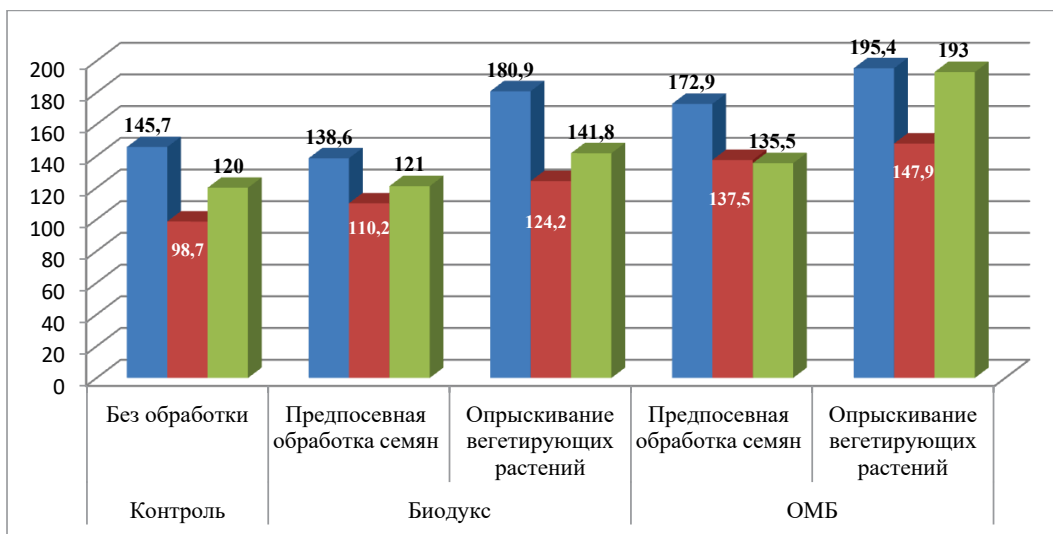
№	Применение биопрепаратов	Способ применения биопрепаратов	Условия водообеспечения
1	Без обработки (контроль)		оптимальные
2	Биодукс	предпосевная обработка семян (ПОС)	оптимальное
3	Органоминеральный биопрепарат (ОМБ)	предпосевная обработка семян (ПОС)	оптимальное
4	Биодукс	опрыскивание вегетирующих растений (ОВР)	оптимальное
5	Органоминеральный биопрепарат (ОМБ)	опрыскивание вегетирующих растений (ОВР)	оптимальное
6	Без обработки (контроль)		дефицит влаги в почве
7	Биодукс	предпосевная обработка семян (ПОС)	дефицит влаги в почве
8	Органоминеральный биопрепарат (ОМБ)	предпосевная обработка семян (ПОС)	дефицит влаги в почве
9	Биодукс	опрыскивание вегетирующих растений (ОВР)	дефицит влаги в почве
10	Органоминеральный биопрепарат (ОМБ)	опрыскивание вегетирующих растений (ОВР)	дефицит влаги в почве
11	Без обработки (контроль)		переувлажнение
12	Биодукс	предпосевная обработка семян (ПОС)	переувлажнение
13	Органоминеральный биопрепарат (ОМБ)	предпосевная обработка семян (ПОС)	переувлажнение
14	Биодукс	опрыскивание вегетирующих растений (ОВР)	переувлажнение
15	Органоминеральный биопрепарат (ОМБ)	опрыскивание вегетирующих растений (ОВР)	переувлажнение



■ Оптимальное водное обеспечение: НСР₀₅ ПОС – 0,12; НСР₀₅ ОВР – 0,10.
 ■ Дефицит влаги в почве: НСР₀₅ ПОС – 0,08; НСР₀₅ ОВР – 0,13.
 ■ Переувлажнение почвы: НСР₀₅ ПОС – 0,13; НСР₀₅ ОВР – 0,12.

Рис. 1а. Содержание азота, %, в зерне пшеницы сорта Злата в разных условиях водного обеспечения

Figure 1a. Nitrogen content (%) in grain of wheat variety Zlata under different water supply conditions



■ Оптимальное водное обеспечение: НСР₀₅ ПОС – 7,6; НСР₀₅ ОВР – 8,7.
 ■ Дефицит влаги в почве: НСР₀₅ ПОС – 5,8; НСР₀₅ ОВР – 6,2.
 ■ Переувлажнение почвы: НСР₀₅ ПОС – 6,3; НСР₀₅ ОВР – 7,6.

Рис. 1б. Вынос азота, мг/сосуд, с урожаем зерна, мг/сосуд, пшеницы сорта Злата в разных условиях водного обеспечения

Figure 1b. Nitrogen yield (mg/vessel) of wheat variety Zlata (mg/vessel) under different water supply conditions

В условиях краткосрочного переувлажнения почвы наибольшее накопление азота в зерне пшеницы показано при использовании препарата Биодукс путем обработки семян перед посевом, что, вероятно, обусловлено положительным влиянием биопрепарата на развитие корневой системы.

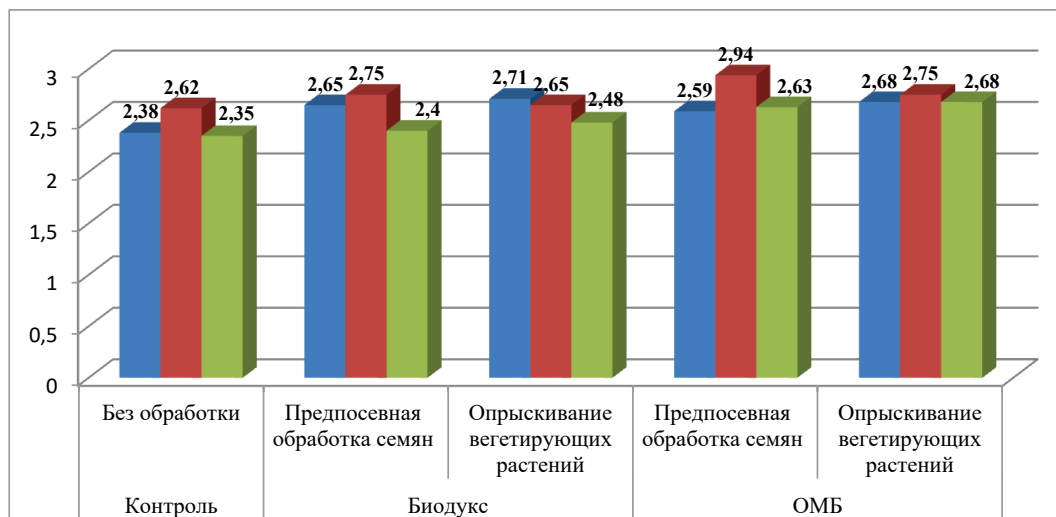
Для комплексной оценки размеров ассимиляции азота растениями пшеницы в различных условиях выращивания изучено влияние изучаемых биопрепаратов на вынос азота с урожаем зерна яровой пшеницы сорта Злата (рис. 1б). Было выявлено, что в условиях оптимального водообеспечения при применении биопрепаратов в большинстве вариантов вынос азота с зерном возрастал. Использование препарата Биодукс оказало положительное действие на размеры выноса азота с зерном пшеницы только при опрыскивании растений в течение вегетации. Получено возрастание выноса азота с зерном в 1,24 раза по сравнению с контролем. В отличие от препарата Биодукс при использовании ОМБ получено положительное увеличение выноса азота при использовании обоих способов его внесения: в 1,19 раза при обработке семян и в 1,34 раза при опрыскивании растений.

В условиях воздействия стрессовых факторов, обусловленных водным режимом почвы, установлено изменение выноса азота с урожаем в 1,49 раза при засухе и в 1,21 раза при переувлажнении. Резкое снижение размеров выноса азота с урожаем зерна в условиях водного стресса обусловлено уменьшением массы зерна, а также снижением размеров поступления азота в растения и нарушением синтетических процессов азота внутри растения. Применение биопрепаратов снижало негативное действие водного стресса и оказывало положительное действие на растения, что, вероятно, обусловлено стимулированием ростовых процессов и процессов поступления азота в растения. В условиях дефицита влаги в почве вынос азота возрос при использовании препарата Биодукс путем обработки семян в 1,12 раза, при опрыскивании растений – в 1,26 раза. При использовании ОМБ отмечено возрастание выноса азота в 1,39 и 1,50 раза соответственно по сравнению с контрольным вариантом.

При переувлажнении почвы прибавка выноса азота с урожаем зерна составила при опрыскивании вегетирующих растений препаратом Биодукс 18%, при обработке семян органоминеральным биопрепаратом – 13%, при опрыскивании растений ОМБ произошло возрастание выноса в 1,61 раза. Таким образом, наибольшие размеры выноса азота с урожаем выявлены при использовании опрыскивания растений в период вегетации как в оптимальных условиях обеспечения растений влагой, так и в стрессовых условиях водного режима.

Продуктивность и эффективность агрохимических средств зависят не только от условий выращивания, но и от сортовой специфики изучаемых культурных растений. Результаты исследований по изучению влияния биопрепаратов и условий водообеспечения на содержание азота в зерне и вынос азота с урожаем зерна пшеницы сорта Радмира представлены на рисунках 2а, б.

При выращивании растений пшеницы сорта Радмира при оптимальном поливе в течение всего вегетационного периода содержание азота в зерне составило 2,38–2,71% (рис. 2а). Использование обработки семян препаратом Биодукс в условиях оптимального полива привело к увеличению содержания азота в зерне пшеницы в 1,11 раза, при опрыскивании растений в период вегетации – в 1,14 раза. Меньшей оказалась отзывчивость растений на использование ОМБ. Увеличение содержания азота в зерне пшеницы произошло в 1,09 и 1,13 раза соответственно. В стрессовых условиях дефицита влаги растения пшеницы сорта Радмира оказались более устойчивыми, и содержание азота даже увеличилось в 1,10 раза по сравнению с вариантом, где растения выращивали при оптимальном поливе, что обусловлено сортовыми особенностями растений пшеницы сорта Радмира.



■ Оптимальное водное обеспечение: НСР₀₅ ПОС – 0,12; НСР₀₅ ОВР – 0,13.
 ■ Дефицит влаги в почве: НСР₀₅ ПОС – 0,14; НСР₀₅ ОВР – 0,13.
 ■ Переувлажнение почвы НСР₀₅ ПОС – 0,13; НСР₀₅ ОВР – 0,14.

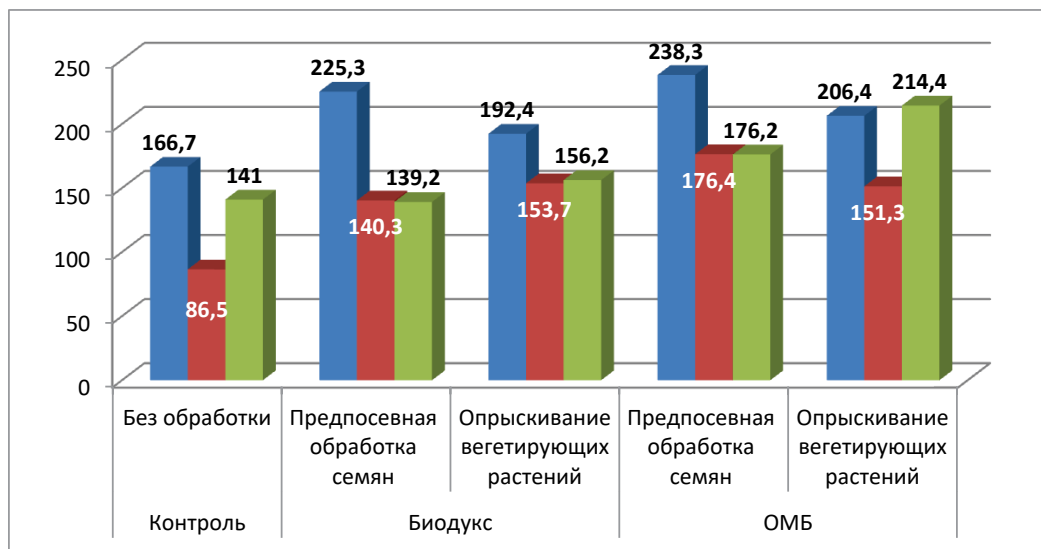
Рис. 2а. Содержание азота, %, в зерне пшеницы сорта Радмира в разных условиях водного обеспечения

Figure 2a. Nitrogen content (%) in grain of wheat variety Radmira under different water supply conditions

В условиях краткосрочной почвенной засухи адаптивная роль биопрепаратов проявлялась в меньшей степени по сравнению с пшеницей сорта Злата. Было выявлено увеличение содержания азота в зерне пшеницы сорта Радмира при обработке семян препаратом Биодукс в 1,05 раза, при использовании обработки семян препаратом ОМБ – в 1,12 раз, при фоллиарной обработке растений – в 1,05 раза по сравнению с контролем. При избыточном увлажнении почвы использование препарата Биодукс обеспечило увеличение содержания азота в зерне пшеницы при опрыскивании растений в 1,06 раза, использование препарата ОМБ при обработке семян – в 1,12 раза, при опрыскивании растений – в 1,14 раза.

Следует отметить, что при выращивании пшеницы сорта Радмира в условиях почвенной засухи наибольшее действие проявили препараты при обработке семян перед посевом, что, вероятно, обусловлено положительным действием на развитие корневой системы. В условиях переувлажнения почвы наибольшее действие препараты проявили при фоллиарной обработке, что, вероятно, обусловлено существенным их действием на ростовые функции.

Величина размера выноса основных элементов питания с урожаем растений пшеницы обусловлена, с одной стороны, формированием урожайности растений, с другой стороны – интенсивностью поступления и ассимиляции питательных элементов в растениях. Как следует из результатов, представленных на рисунке 2б, в оптимальных условиях водообеспечения препарат Биодукс способствовал увеличению выноса азота с урожаем зерна в 1,35 раза при обработке семян, при фоллиарной обработке – в 1,15 раза выше контрольного варианта. Использование органоминерального биопрепарата обеспечило возрастание размеров выноса в 1,43 и 1,24 раза соответственно.



■ Оптимальное водное обеспечение: НСР₀₅ ПОС – 11,5; НСР₀₅ ОВР – 10,4.
■ Дефицит влаги в почве: НСР₀₅ ПОС – 7,5; НСР₀₅ ОВР – 7,1.
■ Переувлажнение почвы: НСР₀₅ ПОС – 7,8; НСР₀₅ ОВР – 9,2.

Рис. 2б. Вынос азота с урожаем зерна, мг/сосуд, пшеницы сорта Радмира в разных условиях водного обеспечения

Figure 2b. Nitrogen yield (mg/vessel) of wheat variety Radmira under different water supply conditions

В неблагоприятных условиях недостаточного и избыточного увлажнения почвы во всех контрольных и опытных вариантах у растений наблюдалось снижение выноса азота с урожаем по сравнению с растениями, произраставшими в режимах оптимального увлажнения почвы. В условиях низкой влажности почвы вынос азота составил от 86,5 до 176,4 мг/сосуд. Биопрепарат Биодукс способствовал повышению выноса азота в 1,62 раза при обработке семян, в 1,78 раза – при фоллиарной обработке. В то же время препарат ОМБ также был эффективен при обоих способах его применения. Возрастание выноса азота в растениях показано в 2,04 и 1,75 раза соответственно. Полученная прибавка выноса азота обусловлена увеличением массы зерна в данных вариантах опыта, а также стимулированием процессов ассимиляции азота в растениях. В условиях переувлажнения почвы значения выноса выросли при опрыскивании растений препаратом Биодукс в 1,11 раза, при обработке семян органоминеральным биопрепаратом – в 1,24 раза, при фоллиарной обработке растений – в 1,52 раза в сравнении с контролем.

Таким образом, изучаемые препараты оказали положительное действие на процессы поступления и ассимиляции азота в растениях яровой пшеницы сортов Злата и Радмира. Наибольшее стимулирующее действие проявил органоминеральный биопрепарат как при обработке семян, так и при внесении путем фоллиарной обработки вегетирующих растений. Показано, что наибольшая адаптивная эффективность биопрепаратов появилась в условиях засухи в критический период развития растений пшеницы обоих сортов. Установлено положительное действие на содержание азота в зерне и вынос азота с урожаем зерна пшеницы сортов Злата и Радмира, что было обусловлено улучшением ростовых функций корневой системы и развитием надземной части растений. Применение биопрепаратов обеспечило лучшие условия

для поступления азота в растения и активизацию процессов ассимиляции азота в растениях. Это вызывает проявление адаптационных реакций в растениях, обуславливая способность яровой пшеницы противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды.

Выводы

Conclusions

Проведенные исследования выявили высокую эффективность биопрепаратов в стрессовых условиях водного обеспечения почвы. Выявлено, что содержание азота в зерне пшеницы сортов Злата и Радмира в стрессовых условиях выращивания зависело от технологии применения биопрепаратов и обеспеченности растений влагой. При дефиците влаги в почве наибольшее содержание азота в зерне пшеницы наблюдалось при опрыскивании вегетирующих растений органоминеральным биопрепаратом. В условиях краткосрочного переувлажнения почвы наибольшее накопление азота в зерне пшеницы показано при использовании препарата Биодукс путем обработки семян перед посевом, что, вероятно, обусловлено положительным влиянием биопрепарата на развитие корневой системы. Отмечено, что при выращивании пшеницы сорта Радмира в условиях почвенной засухи наибольшее действие проявили препараты при обработке семян перед посевом, что, вероятно, обусловлено положительным действием на развитие корневой системы. В условиях переувлажнения почвы наибольшее действие препараты проявили при foliarной обработке. Это обусловлено, вероятно, существенным их действием на ростовые функции, что позволило растениям снизить депрессию процессов формирования урожайности [5, 27].

Установлено, что изучаемые препараты оказали положительное действие на процессы поступления и процессы ассимиляции азота в растениях яровой пшеницы сортов Злата и Радмира. Наибольшее стимулирующее действие проявил органоминеральный биопрепарат как при обработке семян, так и при внесении путем foliarной обработки вегетирующих растений. Показано, что наибольшая адаптивная эффективность биопрепаратов появилась в условиях засухи в критический период развития растений пшеницы обоих сортов. Применение биопрепаратов обеспечило лучшие условия для поступления азота в растения и активизации процессов ассимиляции азота в растениях. Это обуславливает проявление адаптационных реакций в растениях, что определяет способность яровой пшеницы противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды.

Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва: Росгидромет, 2021. 104 с.
2. Дорохов А.С., Бельшикина 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. 35–39. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-34-39>
3. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Оценка возможности использования спутниковой информации для мониторинга засух на территории южных регионов России // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2024. № 3 (393). С. 142–157. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2024-2-142-157>

4. Кононова Н.К. Характеристика экстремальных засух конца XX века // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2017. Т. 3 (13). Вып. 1. 2017. С. 35–65. EDN: YVJFFC
5. Серёгина И.И., Верниченко И.В., Ниловская Н.Т., Шумилин А.О. Продуктивность и устойчивость яровой пшеницы в условиях окислительного стресса при применении селена // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 56–63. EDN: UYHKWB
6. Тимошенкова Т.А. Водный режим листового аппарата *Triticum durum* как показатель при селекции на засухоустойчивость // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 5 (103). С. 38–45. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-38-45>
7. Черенкова Е.А., Кононова Н.К. Анализ опасных атмосферных засух 1972 и 2010 гг. и макроциркуляционных условий их формирования на территории Европейской части России // Труды ГГО. 2002. № 565. С. 165–187. EDN: PGPFHV
8. Черенкова Е.А. Опасная атмосферная засуха на Европейской части России в условиях современного летнего потепления // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2017. № 2. С. 130–143. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2017-2-130-143>
9. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, 2019:178. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24108.95368>
10. Кошкин Е.И., Андреева И.В., Вагун И.В. Продукционный процесс и фиторемедиационный потенциал растений рапса при различных уровнях 146 загрязнения дерново-подзолистой почвы тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2010. № 12. С. 52–57. EDN: NBREUJ
11. Полесская О.Г. *Растительная клетка и активные формы кислорода*. М.: Изд-во КДУ, 2007. 137 с. EDN: QKPSZP
12. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н. *Природные антиоксиданты (экологический аспект)*. Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. 111 с. <https://doi.org/10.13140/2.1.3703.6486>
13. Кузьминых А.Н., Долгушева И.Я. Влияние стимуляторов роста на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2020. Т. 6, № 2. С. 175–179. <https://doi.org/10.30914/2411-9687.2020-6-2-175-179>
14. Павлова О.В., Марченкова Л.А., Чавдарь Р.Ф., Орлова Т.Г. и др. Посевные качества семян и ростовые процессы на ранних этапах органогенеза озимой пшеницы в зависимости от обработки их биопрепаратами // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2023. № 1. С. 36–43. <https://doi.org/10.268970021-342X-2023-1-36-43>
15. Мартынов А.А., Боме Н.А., Юркова В.А., Базюк Д.А. Полевая оценка эффекта обработки семян яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) биологическими препаратами // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2023. № 1. С. 44–56. <https://doi.org/10.268970021-342X-2023-1-44-56>
16. Кобзаренко В.И., Волобуева В.Ф., Серёгина И.И., Ромодина Л.В. *Агрохимические методы исследований*. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 309 с. EDN: IOLQXK
17. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Метод определения органического вещества. М., 2021. 11 с.
18. ГОСТ 26483-85. Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, обменных анионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М., 2023. 8 с. (актуализация 01.07.2023 г.)
19. ГОСТ 26212-2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М., 2021. 9 с.

20. ГОСТ 27821-2020. *Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена*. М., 2020. 11 с. (актуализация 01.07.2023 г.)
21. ГОСТ 26107-84. *Почвы. Методы определения общего азота*. М., 2020. 9 с. (актуализация 01.07.2023 г.)
22. *Методические указания по определению щелочно-гидролизуемого азота в почве по методу Корнфилда*. М.: ЦИНАО, 1985. 9 с.
23. ГОСТ Р 54650-2011. *Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО*. М., 2023. 10 с. (актуализация 01.07.2023 г.)
24. Кидин В.В., Дерюгин И.П., Кобзаренко В.И. и др. *Практикум по агрохимии*. М.: КолосС, 2008. 599 с.
25. *Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации*. 2024. 803 с. URL: <https://direct.farm/content/76e/76eb9f0dc7f341da9c9753ba5f9f8693899871.pdf> (дата обращения: 12.06.2025)
26. Патент № 2814256 С1 (Российская Федерация), МПК C05F 17/00, C05G 1/06. Жидкое органоминеральное гуминовое удобрение / В.И. Трухачев, С.Л. Белопухов, И.И. Серегина и др., 2024. EDN: RJTCGC
27. Анка М., Серёгина И.И., Буддыгин А.И. Урожайность и содержание белковых соединений в зерне яровой пшеницы при использовании препарата Биодукс и органоминерального биопрепарата // *Плодородие*. 2025. № 1 (142). С. 55–58. <https://doi.org/10.25680/S19948603.202>

References

1. *Report on the climate features in the Russian Federation for 2020*. Moscow, Russia: Rosgidromet, 2021:104. (In Russ.)
2. Dorokhov A.S., Belyshkina M.E. Agroclimatic characteristics of regions of the Non-Black soil zone of the Russian Federation and suitability estimation for cultivation of modern early soybean varieties. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;(3(55)):35-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-34-39>
3. Kleshchenko A.D., Savitskaya O.V. Assessment of the possibility of using satellite information for monitoring droughts in the southern regions of Russia. *Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2024;(3(393)):142-157. (In Russ.) <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2024-2-142-157>
4. Kononova N.K. Characteristics of extreme droughts of the late twentieth century. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*. 2017;3(13)(1):35-65. (In Russ.)
5. Seregina I.I., Vernichenko I.V., Nilovskaya N.T., Shumilin A.O. The productivity and resistance of spring wheat under conditions of oxidative stress when using selenium. *Agrohimia*. 2015;(3):56-63. (In Russ.)
6. Timoshenkova T.A. The water regime of the *Triticum durum* leaf apparatus – as an indicator in the selection for drought resistance. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(5(103)):38-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-38-45>
7. Cherenkova E.A., Kononova N.K. Analysis of a severe atmospheric drought in 1972 and 2010 and macrocirculation conditions of its formation over the European part of Russia. *Proceedings of the Voeikov Main Geophysical Observatory*. 2002;(565):165-187. (In Russ.)
8. Cherenkova E.A. Dangerous atmospheric drought in European Russia under recent summer warming. *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya*. 2017;2:130-143. (In Russ.) <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2017-2-130-143>

9. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, 2019:178. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24108.95368>
10. Koshkin E.I., Andreeva I.V., Vagun I.V. Productivity and phytoremediation capacity of *Brassica napus* on soddy-podzolic soil at different contamination with heavy metals. *Agrohimia*. 2010;(12):52-57. (In Russ.)
11. Poleskaya O.G. *Plant cell and active forms of oxygen*. Moscow, Russia: KDU Publisher, 2007:137. (In Russ.)
12. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N. *Natural antioxidants (Ecological aspect)*. Kaliningrad, Russia: Immanuel Kant Baltic Federal University, 2011:111. (In Russ.) <https://doi.org/10.13140/2.1.3703.6486>
13. Kuzminykh A.N., Dolgusheva I.Ya. Influence of growth stimulants on spring wheat yield and grain quality. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2020;6(2):175-179. (In Russ.) <https://doi.org/10.30914/2411-9687.2020-6-2-175-179>
14. Pavlova O.V., Marchenkova L.A., Chavdar R.F., Orlova T.G. et al. Seed quality and growth processes at early stages of winter wheat organogenesis depending on their biological treatment. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2023;(1):36-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.268970021-342X-2023-1-36-43>
15. Martynov A.A., Bome N.A., Yurkova V.A., Bazyuk D.A. Field assessment of the result of biological treatment of seeds of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2023;(1):44-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.268970021-342X-2023-1-44-56>
16. Kobzarenko V.I., Volobueva V.F., Seregina I.I., Romodina L.V. *Agrochemical research methods*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2015:309. (In Russ.)
17. GOST 26213-2021 *Soils. Methods for determination of organic matter*. Moscow, Russia, 2021:11. (In Russ.)
18. GOST 26483-85 *Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINA method*. Moscow, Russia, 2023:8. (updated July 1, 2023). (In Russ.)
19. GOST 26212-2021 *Soils. Determination of hydrolytic acidity by Kappen method modified by CINA*. Moscow, Russia, 2021:9. (In Russ.)
20. GOST 27821-2020 *Soils. Determination of base absorption sum by Kappen method*. Moscow, Russia, 2020:11. (updated July 1, 2023). (In Russ.)
21. GOST 26107-84 *Soils. Methods for determination of total nitrogen*. Moscow, Russia, 2020:9. (updated July 1, 2023). (In Russ.)
22. *Guidelines for determining alkaline-hydrolyzable nitrogen in soil by the Kornfeld method*. Moscow, USSR: TsINAO, 1985:9. (In Russ.)
23. GOST R54650-2011 *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Kirsanov method modified by CINA*. Moscow, Russia, 2023:10. (updated July 1, 2023). (In Russ.)
24. Kidin V.V., Deryugin I.P., Kobzarenko V.I. et al. *Agrochemistry workshop*. Moscow, Russia: KolosS, 2008:599. (In Russ.)
25. *State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use in the Russian Federation*. 2024:803. (In Russ.) URL: <https://direct.farm/content/76e/76eb9f0dc7f341da9c9753ba5f9f8693899871.pdf> (accessed June 12, 2025).
26. Patent, No. 2814256 C1 (Russian Federation): IPC C05F 17/00, C05G 1/06. Liquid organomineral humic fertilizer. V.I. Trukhachev, S.L. Belopukhov, I.I. Seregina et al., 2024. (In Russ.)
27. Anka M., Seregina I.I., Buldygin A.I. Yield and protein content in spring wheat grain using bioduksu and organomineral biopreparation. *Plodorodie*. 2025;(1(142)):55-58. (In Russ.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.202>

Сведения об авторах

Инга Ивановна Серегина, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: iseregina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2400-4159>

Сергей Леонидович Белопухов, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; sbelopuhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4473-4466>

Майя Анка, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; mayaaanka12@gmail.com

Information about the authors

Inga I. Seregina, DSc (Bio), Professor, Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: iseregina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2400-4159>

Sergey L. Belopukhov, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Chemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: sbelopuhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4473-4466>

Anka M., postgraduate student of the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: mayaaanka12@gmail.com