



# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


УДК 579.64

UDC 579.64

## ВЛИЯНИЕ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КАРБАМИДА И БАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS PROTEGENS* DA1.2 НА АЗОТНЫЙ СТАТУС, УРОВЕНЬ ХЛОРОФИЛЛА И РОСТ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Тимергалин М.Д., Феоктистова А.В.,  
Рамеев Т.В., Четвериков С.П.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального  
исследовательского центра РАН, Уфа, Россия  
\*E-mail: [chelab007@yandex.ru](mailto:chelab007@yandex.ru)

Применение комбинаций азотных удобрений и бактерий, стимулирующих рост растений, может быть перспективным способом повысить урожайность сельскохозяйственных культур, однако необходимы дополнительные исследования для подтверждения этого эффекта. Несмотря на возможные преимущества, этот метод не получил широкого распространения из-за риска подавления активности бактерий при избыточном внесении удобрений. Целью исследования было определить, как комбинированное применение бактерий *Pseudomonas protegens* DA1.2 и мочевины влияет на рост, содержание азота и уровень хлорофилла у растений пшеницы. Наблюдался положительный эффект удобрений, проявляющийся в увеличении массы и длины побега, а также в повышении содержания хлорофилла, что свидетельствует о благоприятном воздействии обработок. Исследования показали, что наиболее эффективной была обработка растений пшеницы 8% раствором мочевины в сочетании с бактериями, это приводило к двукратному увеличению азотного статуса, повышению уровня хлорофилла более чем на 38%, увеличению длины побегов – на 10% и массы – на 23% по сравнению с контролем. Применение карбамида в комбинации с бактериями привело к уменьшению массы корня на 47.8% и 34.8% по сравнению с контролем в вариантах 8% карбамид + DA1.2 и 2% карбамид + DA1.2, соответственно.

**Ключевые слова:** PGPB ♦ азотный статус ♦ мочевина ♦ пшеница ♦ хлорофилл ♦ азотные удобрения

Поступила в редакцию: 12.02.2025

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X/2025-3](https://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-3)

## THE EFFECT OF COMBINED USE OF CARBAMIDE AND *PSEUDOMONAS PROTEGENS* DA1.2 BACTERIA ON NITROGEN STATUS, CHLOROPHYLL LEVELS, AND WHEAT PLANT GROWTH

Timergalin M.D., Feoktistova A.V.,  
Rameev T.V., Chetverikov S.P.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia  
\*E-mail: [chelab007@yandex.ru](mailto:chelab007@yandex.ru)

The use of combinations of nitrogen fertilizers and bacteria that stimulate plant growth may be a promising way to increase crop yields, but more research is needed to confirm this effect. Despite the possible advantages, this method has not been widely used due to the risk of suppressing bacterial activity with excessive fertilization. The aim of the study was to determine how the combined use of *Pseudomonas protegens* DA1.2 bacteria and urea affects the growth, nitrogen content and chlorophyll levels in wheat plants. There was a positive effect of fertilizers, manifested in an increase in the mass and length of shoots, as well as an increase in the content of chlorophyll, which indicates the beneficial effects of treatments. Studies have shown that the most effective treatment of wheat plants was with an 8% urea solution in combination with bacteria, which led to a twofold increase in nitrogen status, an increase in chlorophyll levels by more than 38%, an increase in shoot length by 10% and weight by 23% compared with the control. The use of carbamide in combination with bacteria resulted in a decrease in root weight by 47.8% and 34.8% compared to the control in the variants 8% carbamide + DA1.2 and 2% carbamide + DA1.2, respectively.

**Keywords:** PGPB ♦ nitrogen status ♦ urea ♦ wheat ♦ chlorophyll ♦ nitrogen fertilizers

Принято в печать: 10.03.2025

EDN: [KFYOOS](https://www.edn.ru/KFYOOS)

## ВВЕДЕНИЕ

Азот является одним из важнейших элементов минерального питания, ограничивающих рост и развитие сельскохозяйственных растений. При этом азотные удобрения легко растворяются в воде, могут вымываться из корнеобитаемого слоя осадками и дренажными водами, а при избыточном внесении вызывают эвтрофикацию водоёмов и

выбросы парниковых газов. Поэтому важно повышать эффективность использования азота без ущерба для окружающей среды.

Основным азотным удобрением во всем мире является мочевины, которая снабжает растения легкодоступным азотом, стимулирует рост зелёной массы, повышает их устойчивость к негативным факторам окружающей среды, увеличивает содержание белка и повышает урожайность [Swify et al., 2024].

Одним из альтернативных методов повышения продуктивности является использование бактерий, стимулирующих рост растений (PGPB-Plant Growth Promoting Bacteria). Инокуляция бактериями *Pseudomonas protegens* DA1.2 приводила к повышению урожайности яровой пшеницы в условиях стресса, вызванного засухой и гербицидами за счет их рост стимулирующего действия на растения [Тимергалин и др., 2023]. Также совместное влияние бактерий и мочевины (карбамида) может иметь положительный эффект для роста и развития растений. Например, обработка семян бактериями *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, при внесении азотных удобрений в виде мочевины на стадии кущения повышала урожайность пшеницы, увеличивала количество колосьев, способствовала накоплению азота в зерне [Gaspareto et al., 2023].

Стимуляция роста растений под влиянием бактерий может быть обусловлена как результатом активации роста корней из-за синтеза ауксинов [Ruzzi et al., 2015], так и в целом за счет обеспечения растений элементами минерального питания, благодаря их способности фиксировать азот [Islam et al., 2013] и переводить фосфаты в растворимую форму [Richardson et al., 2009].

При этом представляет интерес сочетание разных способов повышения урожайности, в том числе совместное внесение азотных удобрений и бактерий, стимулирующих рост растений. При возможных технологических и экономических преимуществах данного подхода, одновременное использование удобрений и бактериальных препаратов в баковой смеси не получило широкое применение и требует дополнительных исследований. Известно, что чрезмерное внесение минеральных удобрений подавляет активность почвенных бактерий и снижает разнообразие ризосферных бактериальных сообществ [Semenev et al., 2020], поэтому важно подобрать такие условия, чтобы исключить негативные эффекты и повысить эффективность использования азота и рост стимулирующую активность бактерий.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы оценить влияние совместной обработки рост стимулирующим штаммом бактерий *P. protegens* DA1.2 и мочевиной в разных концентрациях на ростовые показатели, азотный статус и уровень хлорофилла у растений пшеницы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований была мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Альбидум 32. Данный сорт рекомендован для возделывания в левобережных зонах Волгоградской и Саратовской областей, среднеспелый, вегетационный период 76-83 дня, устойчивость к полеганию и засухе выше, чем у стандартных сортов. Внесен в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию.

Семена пшеницы предварительно замачивали в течение 15 минут 50% раствором гипохлорита натрия и проращивали, 3-суточные проростки пересаживали по 5 шт. в пластиковые сосуды объемом 0.5 л с песком, который стерилизовали путем прокалывания,

чтобы исключить присутствие бактерий и патогенов. Всего было по 6 повторений на каждый вариант опыта. Растения выращивали в течение 14-часового фотопериода при 22 °С при плотности потока фотонов ФАР 190 мкмоль\*м<sup>-2</sup>\*с<sup>-1</sup> под светодиодными фитолампами ULI-P16-10W («Uniel», Китай). Сосуды поливали до уровня 60% от общей влагоемкости песка.

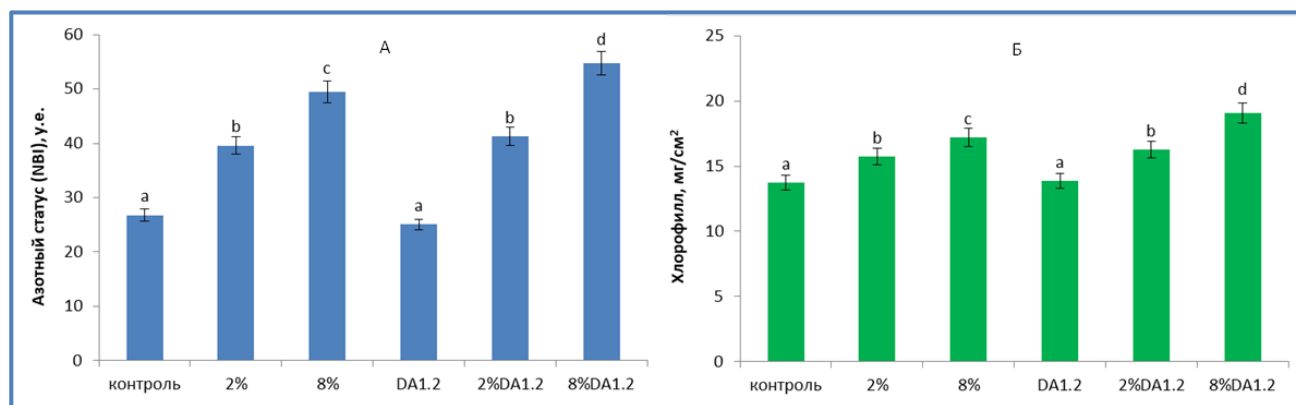
На 7 сутки после посадки в песок растения опрыскивали по 1 мл/сосуд баковой смеси бактерий (10<sup>8</sup> КОЕ/мл) и карбамида (46% д.в. по азоту, ТМ «НОВ-АГРО», г. Великий Новгород) в концентрациях 2 или 8% (0.92 и 3.68 г азота на сосуд 500 мл, соответственно) в комбинациях и по отдельности. Штамм *P. protegens* DA1.2 обладает способностью к синтезу ауксинов и имеет азотфиксирующую активность [Chetverikov et al., 2021]. Штамм представлен в коллекции микроорганизмов Уфимского Института биологии УФИЦ РАН под номером UIB-56 (свидетельство о депонировании ВКМ В-3542D). Бактерии культивировали в течение 4 суток в питательной среде Кинг Б.

Содержание хлорофилла и азотный статус (NBI) измеряли с помощью анализатора растений DUALEX SCIENTIFIC+ («FORCE-A», Франция) через 7 суток после обработок непосредственно в тех условиях, где выращивались растения. Показатели роста (масса побегов и корней, а также длина побега) оценивали через 2 недели после воздействия.

Данные были обработаны с использованием программного обеспечения MS Excel. На рисунках и в таблицах данные представлены в виде средних значений ± стандартная ошибка. Значимость различий оценивали с помощью ANOVA с тестом Дункана ( $p \leq 0,05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

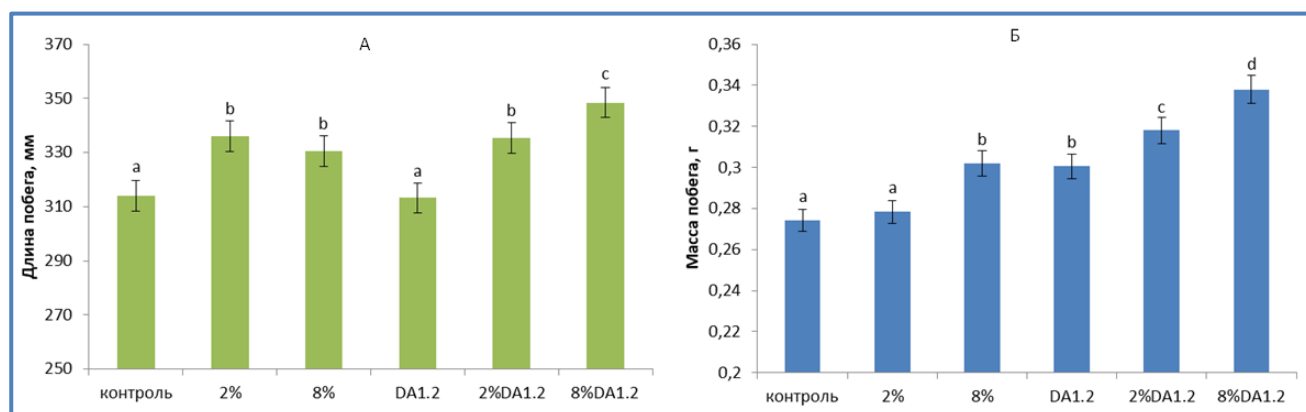
Содержание хлорофилла один из важнейших показателей физиологического состояния растений, поскольку высокая концентрация хлорофилла связана с эффективностью фотосинтеза. Обработка растений раствором карбамида во всех концентрациях приводила к росту уровня хлорофилла и содержания азота в листьях выраженного через NBI (Рис. 1 А, Б). Максимальный уровень NBI и хлорофилла отмечался при сочетании 8%-го раствора мочевины и DA1.2 (на 104.5% и 38.3% относительно контроля, соответственно).



**Рис. 1. NBI (А) и уровень хлорофилла (Б) листьев пшеницы через 7 суток после обработки бактериями и/или раствором карбамида 2 и 8 %, соответственно. Указаны ошибки среднего, n = 30 (ANOVA, Duncan's test).**

Благодаря доступности минерального питания и повышения эффективности процессов фотосинтеза, растения, получавшие большее количество азота, демонстрировали более интенсивный рост. Это проявлялось в увеличении длины и массы побегов.

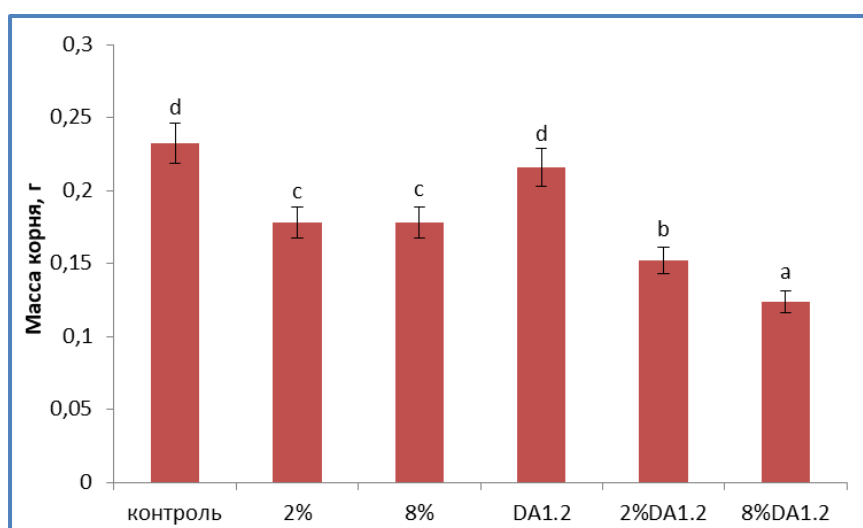
При комбинированной обработке 8% раствором мочевины и DA1.2 (Рис. 2 А, Б) длина побегов увеличивалась более чем на 10% относительно контроля, также способствовал увеличению длины побегов 2%-й раствор карбамида как по отдельности, так и в сочетании с бактериями.



**Рис. 2.** Средняя длина (А) и масса (Б) побега пшеницы через 14 суток после обработки бактериями и/или раствором карбамида 2 и 8 %, соответственно. Указаны ошибки среднего,  $n = 30$  (ANOVA, Duncan's test).

Масса побегов при совместной обработке 8% раствором мочевины и DA1.2 возрастала более чем на 23%, при сочетании 2% раствора и DA1.2 на 16%. Обработка 2% раствором карбамида не стимулировала накопление массы побега. В вариантах 8% и DA1.2 по отдельности ростстимулирующий эффект был менее выражен, чем в комбинациях.

Мочевина во всех концентрациях снижала массу корня (Рис. 3), масса корней растений, обработанных штаммом DA1.2 не отличалась от контрольных значений. Внесение карбамида в сочетании с бактериями приводило к наибольшему снижению массы корня на 47.8 и 34.8% относительно контроля в вариантах 8% карбамид+DA1.2 и 2% карбамид+DA1.2, соответственно.



**Рис. 3.** Средняя масса корня пшеницы через 14 суток после обработки бактериями и/или раствором карбамида 2 и 8 %, соответственно.

Указаны ошибки среднего,  $n = 30$  (ANOVA, Duncan's test).

Высокое содержание азота в почве может снижать массу и объем корня [Shao et al., 2024]. Азотные удобрения стимулируют интенсивный рост надземной части растения,

приводя к тому, что растение направляет больше ресурсов на рост побегов, ограничивая при этом развитие корневой системы.

В условиях ограниченного объема песка в сосудах для выращивания растений исключалось вымывание азота из субстрата, кроме того известно, что бактерии могут улучшать усвоение азота растениями за счёт биологической фиксации азота [Galindo et al., 2024]. В данных условиях внесение мочевины вместе с азотфиксирующим штаммом *P. protegens* DA1.2, несмотря на его способность к синтезу ауксинов не стимулировало активацию роста корней. В результате мы наблюдали, усиление эффекта увеличения соотношения побег/корень в пользу надземной части. При этом внесение бактерий усиливало положительный эффект удобрений, выраженный в повышении массы и длины побега, увеличении содержания хлорофилла, что позволяет говорить о благоприятном эффекте обработок.

Оценка уровня нитрогеназной активности бактериального штамма *P. protegens* DA1.2, а также его совместного применения с карбамидом на урожайность пшеницы нуждается в дальнейших исследованиях в полевых условиях.

Таким образом, после обработки растений раствором карбамида во всех концентрациях наблюдалось повышение азотного статуса, при этом внесение бактерий усиливало стимулирующее воздействие азотных удобрений, что проявлялось в увеличении массы и длины побегов, повышении хлорофилла в листьях. Было установлено, что наиболее эффективной была обработка растений пшеницы 8% раствором мочевины в комбинации с бактерией, так в 2 раза повышался азотный статус, более чем на 38% уровень хлорофилла, длина побегов увеличивалась – на 10% относительно контроля, а масса – на 23%.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках в рамках Гос. задания Минобрнауки России № 075-03-2021-607 по теме № 122031000309-7.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В., Феоктистова А.В., и др. Бактерии для стимулирования роста и повышения продуктивности яровой пшеницы в условиях Зауральской степи // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 60–66. DOI: 10.28983/asj.y2022i2pp60-66
2. Chetverikov S.P., Chetverikova D.V., Bakaeva M.D., et al. A promising herbicide-resistant bacterial strain of *Pseudomonas protegens* for stimulation of the growth of agricultural cereal grains // Appl. Biochem. Microbiol. 2021. V. 57. P. 110-116. DOI: 10.1134/S0003683821010051
3. Galindo F.S., da Silva E.C., Pagliari P.H., et al. Nitrogen use efficiency and recovery in a wheat-corn rotation under tropical savannah conditions // Nutr. Cycl. Agroecosyst. 2021. V. 119. P. 291–305. DOI: 10.1007/s10705-020-10115-4
4. Gaspareto R.N., Jalal A., Ito W.C.N., et al. Inoculation with plant growth-promoting bacteria and nitrogen doses improves wheat productivity and nitrogen use efficiency // Microorganisms. 2023. V. 11 (4). P. 1046. DOI: 10.3390/microorganisms11041046
5. Islam M.R., Sultana T., Joe M.M., et al. Nitrogen-fixing bacteria with multiple plant growth-promoting activities enhance growth of tomato and red pepper // J. Basic Microbiol. 2013. V. 53. P. 1004–1015. DOI: 10.1002/jobm.201200141

6. Richardson A.E., Barea J.M., Mc Neill A.M., Prigent-Combaret C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms // *Plant Soil*. 2009. V. 321. P. 305–339. DOI: [10.1007/s11104-009-9895-2](https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895-2)
7. Ruzzi M., Aroca R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture // *Sci. Hortic*. 2015. V. 196. P. 124–134. DOI: [10.1016/j.scienta.2015.08.042](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042)
8. Semenov M.V., Krasnov G.S., Semenov V.M., Van Bruggen A. Long-term fertilization rather than plant species shapes rhizosphere and bulk soil prokaryotic communities in agroecosystems // *Applied Soil Ecology*. 2020. V. 154. P. 103641. DOI: [10.1016/j.apsoil.2020.103641](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103641)
9. Shao Z., Zheng C., Postma J.A., et al. More N fertilizer, more maize, and less alfalfa: maize benefits from its higher N uptake per unit root length // *Front. Plant Sci*. 2024. V. 15. P. 1338521. DOI: [10.3389/fpls.2024.1338521](https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1338521)
10. Swify S., Mažeika R., Baltrusaitis J., et al. Review: modified urea fertilizers and their effects on improving nitrogen use efficiency (NUE) // *Sustainability*. 2024. V. 16. P. 188. DOI: [10.3390/su16010188](https://doi.org/10.3390/su16010188)

Цитировать как

Тимергалин М.Д., Феоктистова А.В., Рамеев Т.В., Четвериков С.П. Влияние совместного применения карбамида и бактерий *Pseudomonas protegens* DA1.2 на азотный статус, уровень хлорофилла и рост растений пшеницы // *Экобиотех*. 2025. Т. 8 № 1. С. 34-39. DOI: [10.31163/2618-964X/2025-3](https://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-3) EDN: KFYOOS

Cited as

Timergalin M.D., Feoktistova A.V., Rameev T.V., Chetverikov S.P. The effect of combined use of carbamide and *Pseudomonas protegens* DA1.2 bacteria on nitrogen status, chlorophyll levels, and wheat plant growth. *Ecobiotech*. 2025. V. 8 (1). P. 34-39. DOI: [10.31163/2618-964X/2025-3](https://doi.org/10.31163/2618-964X/2025-3) EDN: KFYOOS (In Rus.)

Сведения об авторе

**Максим Данилович Тимергалин**, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: [timermx@mail.ru](mailto:timermx@mail.ru), AuthorID: 1020734, ORCID: 0000-0002-6593-6067

Information About the Author

**Maksim D. Timergalin**, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation. E-mail: [timermx@mail.ru](mailto:timermx@mail.ru), AuthorID: 1020734, ORCID: 0000-0002-6593-6067

**Арина Владимировна Феоктистова**, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: [feoktistova.arisha@yandex.ru](mailto:feoktistova.arisha@yandex.ru), AuthorID: 938857, ORCID: 0000-0002-4852-2532

**Arina V. Feoktistova**, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation. E-mail: [feoktistova.arisha@yandex.ru](mailto:feoktistova.arisha@yandex.ru), AuthorID: 938857, ORCID: 0000-0002-4852-2532

**Тимур Вилевич Рамеев**, к.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: [rameevtv@mail.ru](mailto:rameevtv@mail.ru), AuthorID: 906893, ORCID: 0000-0002-8417-3720

**Timur V. Rameev**, PhD in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation. E-mail: [rameevtv@mail.ru](mailto:rameevtv@mail.ru), AuthorID: 906893, ORCID: 0000-0002-8417-3720

**Сергей Павлович Четвериков**, д.б.н., Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа, Россия. E-mail: [chelab007@yandex.ru](mailto:chelab007@yandex.ru), AuthorID: 175116, ORCID: 0000-0002-7961-1503

**Sergey P. Chetverikov**, Doctor in Biological Sciences, Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation. E-mail: [chelab007@yandex.ru](mailto:chelab007@yandex.ru), AuthorID: 175116, ORCID: 0000-0002-7961-1503