*Оригинальная статья*

УДК 574:24
DOI: 10.17277/voprosy.2026.03.pp.007-016

# АНАЛИЗ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ПРИБРЕЖНЫХ РАСТЕНИЙ РЕКИ ЦНЫ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**© И. В. Гладышева[1], Н. В. Вервекина[1], С. В. Романцова[1]✉, И. В. Якунина[2]**

[1] *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», ул. Советская, 93, Тамбов, 392000, Российская Федерация;*
[2] *ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ул. Советская, 106/5, пом. 2, Тамбов, 392000, Российская Федерация*
✉ svromantsova@yandex.ru

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ количественного содержания хлорофиллов *a* и *b* и каротиноидов в листьях доминантных видов прибрежных растений среднего течения реки Цны: камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris*) и рогоз широколистный (*Typha latifolia*). Анализ полученных данных позволил сделать выводы о физиологическом состоянии макрофитов и качестве водной среды. Установлено, что максимальное содержание хлорофилла *a* и наибольшая степень каротиноидной защиты наблюдается у камыша озерного. Выявлена видоспецифичная реакция макрофитов на антропогенную нагрузку: камыш озерный обладает более высоким адаптивным потенциалом, тогда как рогоз широколистный выступает в роли вида-сенсибилизатора. Биомаркерные индексы свидетельствуют о наличии умеренного хронического химического стресса изучаемых популяций.

**Ключевые слова:** каротиноиды; макрофиты; река Цна; спектрофотометрия; стрессоустойчивость растений; фотосинтетические пигменты; хлорофилл *a*; хлорофилл *b*.

**Для цитирования.** Гладышева И. В., Вервекина Н. В., Романцова С. В., Якунина И. В. Анализ пигментного комплекса прибрежных растений реки Цны Тамбовской области // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2026. – № 3(101). – С. 007–016. doi: 10.17277/voprosy. 2026.03.pp.007-016

# Analysis of the Pigment Composition of Riparian Plants of the Tsna River in the Tambov Region

**© Irina V. Gladysheva[1], Natalia V. Vervekina[1], Svetlana V. Romantsova[1]✉, Irina V. Yakunina[2]**

[1] *Tambov State University named after G. R. Derzhavin, 93, Sovetskaya St., Tambov, 392000, Russian Federation;*
[2] *Tambov State Technical University, Bld. 2, 106/5, Sovetskaya St., Tambov, 392000, Russian Federation*
✉ svromantsova@yandex.ru

**Abstract.** A comparative analysis was carried out of the quantitative content of chlorophylls *a* and *b* and carotenoids in the leaves of dominant riparian plant species in the middle reaches of the Tsna River: common club-rush (*Schoenoplectus lacustris*) and broadleaf cattail (*Typha latifolia*). The analysis of the data obtained made it possible to draw conclusions about the physiological condition of the macrophytes and the quality of the aquatic environment. It was established that common club-rush (*Schoenoplectus lacustris*) exhibited the highest chlorophyll *a* content and the greatest degree of carotenoid-mediated photoprotection. A species-specific response of the macrophytes to anthropogenic pressure was revealed: common club-rush possesses a higher adaptive potential, whereas broadleaf cattail acts as a sensitive indicator species. The biomarker indices indicate the presence of moderate chronic chemical stress in the studied populations. The results can be used to develop regional bioindication scales and further monitoring of the ecological state of the Tsna River basin.

**Keywords:** carotenoids; macrophytes; the Tsna River; spectrophotometry; plant stress resistance; photosynthetic pigments; chlorophyll *a*; chlorophyll *b*.

**For citation.** Gladysheva I. V., Vervekina N. V., Romantsova S. V., Yakunina I. V. Analysis of the Pigment Composition of Riparian Plants of the Tsna River in the Tambov Region, *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2026, no. 3(101), pp. 007-016. doi: 10.17277/voprosy.2026.03.pp.007-016 (In Russ., abstract in Eng.)

## Введение

Река Цна является одной из главных водных артерий Тамбовской области, испытывающей комплексное антропогенное воздействие от точечных источников (промышленных предприятий) и рассредоточенного поверхностного стока. Оценка состояния макрофитов через анализ их пигментного комплекса является чувствительным методом биоиндикации качества воды.

Водные макрофиты играют ключевую роль в функционировании экосистем малых рек, участвуя в процессах самоочищения воды, аккумуляции биогенных элементов, создании среды обитания для гидробионтов и стабилизации донных отложений. Содержание фотосинтетических пигментов является чувствительным индикатором состояния растения и уровня антропогенной нагрузки на водоем. Эти пигменты не только обеспечивают поглощение света, но и выполняют важные защитные функции, особенно в условиях стресса, вызванного загрязнением водной среды. Одним из объективных критериев оценки физиологического состояния растений является содержание фотосинтетических пигментов – хлорофиллов и каротиноидов [1, 2]. Эти пигменты не только обеспечивают светособирающую и светопреобразующую функцию фотосинтетической системы, но и отражают адаптационные реакции растений на стрессовые факторы среды (загрязнение, затенение, изменение уровня воды и др.) [3 – 5].

Содержание фотосинтетических пигментов является чувствительным индикатором физиологического состояния растения и уровня химической нагрузки на водоем (загрязнение тяжелыми металлами или нефтепродуктами) [6 – 10]. Оценка состояния макрофитов через анализ их пигментного комплекса признана одним из наиболее информативных методов фитоиндикации пресноводных экосистем [11 – 13].

*Цель работы* – сравнительная оценка содержания хлорофиллов *a*, *b* и суммы каротиноидов в листьях доминирующих видов макрофитов реки Цны для предварительной характеристики экологического состояния прибрежно-водной растительности.

## Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовались прибрежно-водные растения: камыш озерный (*Scirpus lacustris*) и рогоз широколистный (*Typha latifolia*). Сбор материала для исследования проводился в течение вегетационного периода (июнь 2026 г.) на участке реки Цны в черте г. Тамбова и в Тамбовском районе. Выборка проводилась с нескольких пробных площадок для обеспечения репрезентативности. Точки сбора представлены на карте-схеме (рис. 1).




**Рис. 1. Карта-схема сбора растительного материала:**
1 – Набережная г. Тамбова; 2 – Набережная г. Котовска; 3 – берег реки в деревне Перикса; 4 – берег реки рядом с плотиной в Пригородном лесу г. Тамбова; 5 – берег реки в районе Тамбовской ТЭЦ; 6 – берег старицы Цны в районе лесопарка Дружбы

Концентрацию фотосинтетических пигментов определяли классическим спектрофотометрическим методом [14 – 16]. Для проведения анализа могут быть использованы различные растворители, в данной работе использовался ацетон (ч.д.а.), при длинах волн 662, 644 и 440,5 нм.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета MS Excel. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента ($p < 0,05$).

## Результаты и их обсуждение

Химические стрессовые факторы приводят к снижению скорости накопления фотосинтетических пигментов, влияют на соотношение спектральных форм хлорофилла.

Для оценки адаптивного потенциала рассчитывались коэффициенты вариации *CV* и диагностические индексы: соотношение хлорофиллов ($C_a/C_b$) и отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ($(C_a+C_b)/C_k$). Статистическая обработка проводилась в программе MS Excel.

Результаты фотометрического определения содержания пигментов представлены в табл. 1. Для каждой точки отбора числитель отражает содержание пигмента в камыше, знаменатель – в рогозе.

Анализ данных показывает значительную вариабельность показателей в зависимости от гидрологического режима точки мониторинга и удаленности от промышленных узлов. Наименьшее суммарное содержание пигментов зафиксировано в точке 1 (городская набережная, г. Тамбов), что коррелирует с максимальной бытовой и транспортной нагрузкой. Пиковые значения наблюдаются в точке 3 для камыша, точке 6 – для рогоза). Зона влияния теплоэлектроцентрали (точка 5) не вызвала угнетения пигментной системы, вероятно, за счет теплового фактора, стимулирующего метаболизм в летний период.

Таблица 1

**Содержание фотосинтетических пигментов в листьях исследуемых макрофитов, мг/л**

| Точки мониторинга | Растение | $C_a$ | $C_b$ | $C_k$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Камыш | 5,307 | 1,268 | 1,845 |
| | Рогоз | 3,654 | 1,163 | 0,956 |
| 2 | Камыш | 8,335 | 2,584 | 2,542 |
| | Рогоз | 7,471 | 2,593 | 2,324 |
| 3 | Камыш | 9,324 | 2,431 | 3,620 |
| | Рогоз | 3,910 | 1,104 | 1,643 |
| 4 | Камыш | 8,481 | 2,536 | 2,963 |
| | Рогоз | 3,446 | 1,093 | 1,274 |
| 5 | Камыш | 8,073 | 2,372 | 2,375 |
| | Рогоз | 6,486 | 1,944 | 2,574 |
| 6 | Камыш | 6,722 | 2,056 | 2,148 |
| | Рогоз | 10,613 | 3,136 | 4,698 |

Анализ средних значений показал, что камыш характеризуется более высоким базовым уровнем накопления изучаемых пигментов, например для камыша содержание хлорофилла *a* в среднем составило $C_a$ = = (7,707 ± 1,284) мг/л, та же величина для рогоза $C_a$ = (5,880 ± 2,500) мг/л. Обратное соотношение наблюдали для точки 6 (старица реки Цны). Это может быть связано с адаптационной реакцией рогоза в связи с периодически происходящим пересыханием русла в точке мониторинга.

Расчет коэффициентов вариации выявил принципиальные различия в стратегии адаптации видов (табл. 2).

Низкие значения *CV* у камыша свидетельствуют о его высокой гомеостатичности. Данный вид поддерживает стабильный уровень фотосинтетического комплекса вне зависимости от локальных условий. Напротив, экстремально высокие показатели *CV* у рогоза указывают на его гиперчувствительность к градиенту загрязнения. Это позволяет классифицировать рогоз как высокочувствительный биоиндикатор, четко маркирующий зоны экологического неблагополучия резким падением концентрации хлорофиллов (например, в точке 1 снижение $C_a$ составило 65 % относительно точки 6).

Для объективной оценки степени стресса рассчитывались биомаркерные индексы: соотношение хлорофиллов $C_a/C_b$ и отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам $(C_a+C_b)/C_k$ [14, 15]. Результаты сведены в табл. 3.

Количественная оценка индекса $C_a / C_b$ показала незначительное снижение показателя во всех точках (максимум на 20 % в точке 2), что свидетельствует об умеренном уровне стрессового воздействия без глубокой перестройки светособирающего комплекса.

Критическим маркером выступил индекс $(C_{a+b}) / C_k$. Согласно литературным данным, резкое повышение доли каротиноидов (снижение индекса) является прямым признаком активации антиоксидантной защиты при окислительном стрессе [17, 18].

Минимальные значения индекса зафиксированы: у рогоза в точке 6 (старица Цны) – 2,29 (при высоком абсолютном содержании пигментов); камыша в точке 3 (деревня Перикса) – 3,25 (см. табл. 3). Это указывает на то, что даже при сохранении высокого уровня фотосинтеза ткани растений, возможно, испытывают нагрузку со стороны свободных радикалов, тяжелых металлов или других антропогенных факторов.

Таблица 2

**Коэффициенты вариации (*CV*, %) содержания пигментов у исследуемых макрофитов**

| Пигмент | Камыш | Рогоз |
|---|---|---|
| Хлорофилл *a* | 16,7 | 42,5 |
| Хлорофилл *b* | 20,5 | 37,8 |
| Каротиноиды | 20,9 | 54,6 |

Таблица 3

**Биомаркерные индексы пигментного комплекса макрофитов**

| Точки отбора проб | Растение | $C_a$ / $C_b$ | $(C_{a+b})$ / $C_k$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Камыш | 4,185 | 3,563 |
| | Рогоз | 3,141 | 3,078 |
| 2 | Камыш | 3,225 | 4,293 |
| | Рогоз | 2,881 | 4,329 |
| 3 | Камыш | 3,835 | 3,246 |
| | Рогоз | 3,541 | 3,331 |
| 4 | Камыш | 3,344 | 3,716 |
| | Рогоз | 3,152 | 3,562 |
| 5 | Камыш | 3,403 | 4,396 |
| | Рогоз | 3,335 | 3,274 |
| 6 | Камыш | 3,269 | 4,084 |
| | Рогоз | 3,184 | 2,295 |

## Заключение

Проведена оценка содержания фотосинтетических пигментов в листьях камыша озерного и рогоза широколистного, произрастающих в реке Цне. Установлено, что камыш обладает более высокой концентрацией хлорофиллов, что отражает его доминирующее положение в фитоценозе данного участка реки. Значения биомаркерных индексов пигментного комплекса макрофитов «$C_a$ / $C_b$» и «$(C_{a+b})$ / $C_k$» свидетельствуют о наличии у изучаемых растений умеренного стресса. Выявленные закономерности целесообразно учитывать для дальнейшего мониторинга экологического состояния водосборного бассейна реки Цны.


## Финансирование

Настоящее исследование не получило внешнего финансирования.

## Funding

The present study did not receive any external funding.


## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

*Список литературы*

1. Chlorophyll estimation in field crops: an assessment of handheld leaf meters and spectral reflectance measurements / R. Casa, F. Castaldi, S. Pascucci, S. Pignatti // Journal of Agriculture Science. – 2014. – Vol. 153, No. 5. – P. 876–890. doi: 10.1017/s0021859614000483

2. Бойко, Т. А. Состояние зеленых насаждений общего пользования в условиях Перми / Т. А. Бойко, А. П. Мальцева, И. И. Збруева // Экология урбанизированных территорий. – 2019. – № 2. – С. 85–92. doi: 10.24411/1816-1863-2019-12085

3. Якушина, Л. Г. Флуоресценция хлорофилла и содержание пигментов в листьях хризантемы садовой / Л. Г. Якушкина // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2024. – № 91. – С. 199–211. doi: 10.31360/2225-3068-2024-91-107-199-211

4. Химический стресс сельскохозяйственных растений и способ его снижения / С. В. Романцова, И. В. Гладышева, Н. В. Вервекина, С. А. Нагорнов, А. П. Ликсутина, А. Ю. Корнев // Наука в центральной России. – 2021. – № 4(52). – С. 64–73. doi: 10.35887/2305-2538-2021-4-64-73

5. Петухов, А. С. Оценка содержания пигментов фотосинтеза у растений разных видов в условиях антропогенного стресса / А. С. Петухов, Н. А. Хритохин, Г. А. Петухова // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 6. – С. 166–173.

6. Корнилов, А. Л. Ответные биохимические реакции растений из прибрежной зоны водоемов г. Тюмени / А. Л. Корнилов, Г. А. Петухова, А. И. Коваленко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – Арт. 319. (8 с.)

7. Belous, O. G. Comparative analysis of photosynthetic indicators in freesia hybrids on the Black Sea coast of Krasnodar region / O. G. Belous, K. V. Klemeshova, O. I. Pashchenko // Horticultural Science (HORTSCI). – 2017. – Vol. 44, No. 2. – P. 99–104. doi: 10.17221/189/2015-HORTSCI

8. Метелёва, Н. Ю. Пигментные характеристики летнего эпифитона водохранилищ Верхней Волги / Н. Ю. Метелёва // Вода: химия и экология. – 2017. – № 3. – С. 34–39.

9. Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата *Typha latifolia* L. в условиях техногенного загрязнения / М. Г. Малева, Н. В. Чукина, Г. Г. Борисова, О. С. Синенко, Г. И. Ширяев // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 6. – С. 24–26. doi: 10.24411/1728-323X-2019-16024

10. Кушнарева, О. П. Влияние различных концентраций солей меди и свинца на содержание хлорофилла и содержание углерода в листьях растений / О. П. Кушнарева, Е. Н. Перекрестова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10(185). – С. 294–297.

11. Mineeva, N. M. The content of photosynthetic pigments in the Upper Volga reservours (2005–2016) / N. M. Mineeva// Inland Water Biology. – 2019. – Vol. 12, No. 2. – P. 161–169. doi: 10.1134/S199508291902010X

12. Минеева, Н. М. Сравнительная характеристика продуктивности фитопланктона и эпифитона водохранилищ Верхней Волги / Н. М. Минеева, Н. Ю. Метелёва // Биология внутренних вод. – 2019. – № 2-2. – С. 33–41. doi: 10.1134/S0320965219030148

13. Phytoplankton functional dynamics in a shallow polymictic tropical lake: the influence of emergent macrophytes / M. Gebrehiwot, D. Kifle, I. Stiers, L. Triest // Hydrobiologia. – 2017. – Vol. 797(1068). – P. 69–86. doi: 10.1007/s10750-017-3161-z

14. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // В кн. : Биохимические методы в физиологии растений. – Москва : Наука, 1971. – С. 154–171.

15. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды : учебное пособие / Ю. П. Федулов, В. В. Котляров, К. А. Доценко [и др.]. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 89 с.

16. Жакова, С. Н. Экологические методы диагностики жизнеспособности древесных растений : практикум / С. Н. Жакова, Е. В. Пименова, С. В. Лихачев. – Пермь : ИПЦ Прокростъ, 2020. – 54 с.

17. Петухов, А. С. Оценка содержания пигментов фотосинтеза у растений разных видов в условиях антропогенного стресса / А. С. Петухов, Н. А. Хритохин, Г. А. Петухова // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 6. – С. 166–173.

18. Sinyutina, S. Ye. The use of indicators of plant photosynthetic and enzymatice activity in bioindication studies / S. Ye. Sinyutina, A. G. Shubina // Journal of Agriculture and Environment. – 2020. – No. 4(16). – P. 29–34. doi: 10.23649/jae. 2020.4.16.3

*References*

1. Casa R., Castaldi F., Pascucci S., Pignatti S. Chlorophyll estimation in field crops: an assessment of handheld leaf meters and spectral reflectance measurements, *Journal of Agriculture Science*, 2015, vol. 153, no. 5, pp. 876-890. doi: 10.1017/s0021859614000483

2. Boyko T.A., Mal'tseva A.P., Zbruyeva I.I. [Condition of public green spaces in Perm], *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories], 2019, no. 2, pp. 85-92. doi: 10.24411/1816-1863-2019-12085 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Yakushina L.G. [Chlorophyll fluorescence and pigment content in garden chrysanthemum leaves], *Subtropicheskoye i dekorativnoye sadovodstvo* [Subtropical and Ornamental Gardening], 2024, no. 91, pp. 199-211. doi: 10.31360/2225-3068-2024-91-107-199-211 (In Russ., abstract in Eng.)

4. Romantsova S.V., Gladysheva I.V., Vervekina N.V., Nagornov S.A., Liksutina A.P., Kornev A.Yu. [Chemical stress in agricultural plants and a method for its mitigation], *Nauka v tsentral'noy Rossii* [Science in Central Russia], 2021, no. 4(52), pp. 64-73. doi: 10.35887/2305-2538-2021-4-64-73 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Petukhov A.S., Khritokhin N.A., Petukhova G.A. [Assessment of photosynthetic pigment content in various plant species under anthropogenic stress], *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik* [International Student Scientific Bulletin], 2017, no. 6, pp. 166-173. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Kornilov A.L. Petukhova G.A., Kovalenko A.I. [Biochemical response reactions of plants from the littoral zone of water bodies in the city of Tyumen], *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2012, no. 3, art. 319. (8 p.) (In Russ., abstract in Eng.)

7. Belous O.G., Klemeshova K.V., Pashchenko O.I. Comparative analysis of photosynthetic indicators in freesia hybrids on the Black Sea coast of Krasnodar region, *Horticultural Science (HORTSCI)*, 2017, vol. 44, no. 2, pp. 99-104. doi: 10.17221/189/2015-HORTSCI

8. Metelova N.Yu. [Pigment characteristics of summer epiphyton in Upper Volga reservoirs], *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology], 2017, no. 3, pp. 34-39. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Maleva M.G., Chukina N.V., Borisova G.G., Sinenko O.S., Shiryayev G.I. [Structural and functional changes in the photosynthetic apparatus of *Typha latifolia* L. under conditions of technogenic pollution], *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of Regional Ecology], 2018, no. 6, pp. 24-26. doi: 10.24411/1728-323X-2019-16024 (In Russ., abstract in Eng.)

10. Kushnareva O.P., Perekrestova Ye.N. [Effect of various concentrations of copper and lead salts on chlorophyll and carbon content in plant leaves], *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], 2015, no. 10(185), pp. 294-297. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Mineeva N.M. The content of photosynthetic pigments in the Upper Volga reservours (2005–2016), *Inland Water Biology*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 161-169. doi: 10.1134/S199508291902010X

12. Mineyeva N.M., Metelova N.Yu. [Comparative characteristics of phytoplankton and epiphyton productivity in Upper Volga reservoirs], *Biologiya vnutrennikh vod* [Inland Water Biology], 2019, no. 2-2, pp. 33-41. doi: 10.1134/S0320965219030148 (In Russ., abstract in Eng.)

13. Gebrehiwot M., Kifle D., Stiers I., Triest L. Phytoplankton functional dynamics in a shallow polymictic tropical lake: the influence of emergent macrophytes, *Hydrobiologia*, 2017, vol. 797(1068), pp. 69-86. doi: 10.1007/s10750-017-3161-z

14. Shlyk A.A. [Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts], in Book: *Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical Methods in Plant Physiology], Moscow: Nauka, 1971, pp. 154-171. (In Russ.)

15. Fedulov Yu.P., Kotlyarov V.V., Dotsenko K.A. [et al.]. *Ustoychivost' rasteniy k neblagopriyatnym faktoram sredy: uchebnoye posobiye* [Plant resistance to adverse environmental factors: a study guide], Krasnodar: KubGAU, 2015, 89 p. (In Russ.)

16. Zhakova S.N., Pimenova Ye.V., Likhachev S.V. *Ekologicheskiye metody diagnostiki zhiznesposobnosti drevesnykh rasteniy: praktikum* [Ecological methods for assessing the viability of woody plants: a practical manual], Perm': IPTS Prokrost", 2020, 54 p. (In Russ.)

17. Petukhov A.S., Khritokhin N.A., Petukhova G.A. [Assessment of photosynthetic pigment content in various plant species under anthropogenic stress], *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik* [International Student Scientific Bulletin], 2017, no. 6, pp. 166-173. (In Russ., abstract in Eng.)

18. Sinyutina S.Ye., Shubina A.G. The use of indicators of plant photosynthetic and enzymatice activity in bioindication studies, *Journal of Agriculture and Environment*, 2020, no. 4(16), pp. 29-34. doi: 10.23649/jae.2020.4.16.3

---

*Сведения об авторах*

**Гладышева Ирина Владимировна** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биохимии и фармакологии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Российская Федерация; ORCID 0009-0002-5318-9110; e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru

**Вервекина Наталья Владимировна** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биохимии и фармакологии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Российская Федерация; ORCID 0009-0001-2627-5382; e-mail: vervekinanv@mail.ru

**Романцова Светлана Валерьевна** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биохимии и фармакологии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-5363-1645; e-mail: svromantsova@yandex.ru

**Якунина Ирина Владимировна** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Природопользование и защита окружающей среды», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Российская Федерация; ORCID 0009-0008-0115-9810; e-mail: yakunina-iv@mail.ru

*About the authors*

**Irina V. Gladysheva** – Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biochemistry and Pharmacology, Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation; ORCID 0009-0002-5318-9110; e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru

**Natalia V. Vervekina** – Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biochemistry and Pharmacology, Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation; ORCID 0009-0001-2627-5382; e-mail: vervekinanv@mail.ru

**Svetlana V. Romantsova** – Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biochemistry and Pharmacology, Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation; ORCID 0000-0002-5363-1645; e-mail: svromantsova@yandex.ru

**Irina V. Yakunina** – Cand. Sc. (Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Nature Management and Environmental Protection, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation; ORCID 0009-0008-0115-9810; e-mail: yakunina-iv@mail.ru

*Дата поступления 21.07.2026;*
*после рецензирования 28.08.2026;*
*дата принятия 01.09.2026*

© Гладышева И. В., Вервекина Н. В., Романцова С. В., Якунина И. В., 2026. Данная статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/