



DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2018.1.2>

UDC 574/577

LBC 28.073

SIMILARITIES AND DIFFERENCES OF PIGMENTS, PROTEINS AND LIPIDS COMPOSITION IN NATIVE AND ALIEN SPECIES OF THE GENUS *ARTEMISIA*

Elena S. Bogdanova

Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russian Federation

Viktor N. Nesterov

Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russian Federation

Olga A. Rozentsvet

Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Tolyatti, Russian Federation

Svetlana N. Zubova

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

Olga N. Makurina

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

Abstract. The genus *Artemisia* has about 400 species and among the plants of this genus there are native and alien species. Currently, flora's adventitization has become one of the indicators of a powerful anthropogenic transformation of the environment, to which the flora of many regions is exposed. The study of morphological, physiological and biochemical features affecting the ability of alien species allows us to determine their rate of adaptation and the possibility of adjusting their behavior in the process of naturalization. We tried to determine the similarities and differences in the composition of key cellular components that determine the growth, development and productivity of plants in indigenous and alien species. The aim of the study was to study the quantitative content of pigments, proteins and lipids in indigenous and alien species of the genus *Artemisia*. The results show that alien species of *A. sieversiana* differ from local species by a higher content of functionally active groups of molecules, such as photosynthetic pigments, proteins and lipids. The observed differences in these groups of molecules can be due to species specificity and the genetic status of the species, as well as the place of plant growth.

Key words: native and alien plants, lipids, pigments, proteins.

УДК 574/577

ББК 28.073

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ПИГМЕНТОВ, БЕЛКОВ И ЛИПИДОВ У АБОРИГЕННЫХ И АДВЕНТИВНЫХ ВИДОВ РОДА *ARTEMISIA*

Елена Сергеевна Богданова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Российская Федерация

Виктор Николаевич Нестеров

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Российская Федерация

Ольга Анатольевна Розенцвет

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, Российская Федерация

Светлана Николаевна Зубова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Российская Федерация

Ольга Николаевна Макурина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Российская Федерация

Аннотация. Изучены сходства и различия состава липидов, белков и фотосинтетических пигментов нативных и чужеродных видов рода *Artemisia*. Было обнаружено, что адвентивный вид *A. sieversiana* по сравнению с местными видами *Artemisia* имеет более высокое содержание фотосинтетических пигментов, белков, фосфатидилхолина и низкий уровень резервных нейтральных липидов. Предполагается, что это связано с видовыми особенностями, генетическим статусом вида, так и местом произрастания растений и природно-климатическими условиями Сызранского района и Ульяновской области.

Ключевые слова: аборигенные и адвентивные растения, липиды, пигменты, белки.

Введение. Род *Artemisia* (полынь) насчитывает около 400 видов и является одним из крупных в семействе *Asteraceae*. Как правило растения полыни представляют собой многолетние травы или полукустарники. Растения рода *Artemisia* пластичные виды, способные заселять территории с разными экологическими условиями. Распространены по всему северному полушарию, особенно в умеренном поясе Европы и Азии [10].

Среди растений данного рода встречаются аборигенные и адвентивные виды. В настоящее время адвентизация флоры стала одним из показателей мощной антропогенной трансформации окружающей среды, которой подвержены флоры многих регионов [1]. Известно, что адвентивные виды более эффективно используют условия среды, чем аборигены, что усиливает их конкурентные способности и позволяет им вытеснять многие виды растений, повышать свою численность и успешно захватывать новые территории. Внедрение адвентивных видов обедняет видовой состав и упрощает структуру растительных сообществ, снижает их биоразнообразие [3]. Исследование морфологических, физиолого-биохимических особенностей, влияющих на способности адвентивных видов позволяет, определить скорость адаптации и возможность корректировки их поведения в процессе натурализации [11; 14].

Следует отметить, что многие виды растений рода *Artemisia* продуцируют компоненты, обладающие широким спектром биологической активности: эфирные масла, дубильные вещества, органические кислоты, каро-

тин, аскорбиновую кислоты, гликозиды, абсинтин и анабсинтин и т. д. [4]. Эфирные масла полыней проявляют антибактериальную, антифунгинальную, противовирусную активность [16]. Спиртовые извлечения, содержащие полифенольные соединения, обладают антиоксидантным и бактерицидными свойствами [17]. Биологически активные соединения из растений *Artemisia*, используются в качестве фармацевтических и косметологических препаратов, пищевых добавок [12].

Как известно, компонентный состав полыней может значительно меняться в зависимости от условий произрастания, стадии онтогенеза и видовых особенностей [5]. В связи с этим, нами была предпринята попытка выявить сходства и различия состава ключевых клеточных компонентов, определяющих рост, развитие и продуктивность растений у аборигенных и адвентивных видов. Задачей работы являлось исследование количественного содержания пигментов, белков и липидов у аборигенных и адвентивных видов рода *Artemisia*.

Объекты исследования и методы.

В качестве объектов исследования были выбраны растения *Artemisia abrotanum* L., *A. marshalliana* Spreng., *A. santonica* L., *A. sieversiana* Willd. Растения отбирали на территории Сызранского района Ульяновской области, в первой половине дня в середине июля 2016 года. Для анализов использовали листья, собранные с 15–20 растений одного вида. Из усредненной массы составляли три биологические пробы по 0,5–2 г сырой массы. Да-

лее растительный материал замораживали в жидком азоте, где хранили до начала проведения анализов. Одновременно отбирали образцы почвы на глубине 15–20 см для определения кислотности, влажности, температуры, а также химического анализа.

Анализ водной вытяжки из 100 г почвы проводился в сертифицированной лаборатории абиотических факторов в Институте экологии Волжского бассейна РАН.

Анализ пигментов. Высечки из средней части листьев фиксировали кипящим ацетоном. В ацетоновой вытяжке при длинах волн 662 и 644 нм (Хл) и 470 нм (Кар) содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически на приборе UV1700 («Shimadzu», Япония) в 3–4 кратной биологической повторности [2; 9].

Анализ белков. Растительный материал экстрагировали на холоде с 5 мл дистиллированной воды. Листья гомогенизировали в фарфоровой ступке вручную, что относится к мягкому способу воздействия. Гомогенат центрифугировали в течение 15 мин при 8000 g. Супернатант отделяли от осадка, объем доводили до 10 мл и использовали для количественного определения водорастворимых белков (ВБ) по методу Лоури [13] на спектрофотометре (ПромЭкоЛаб ПЭ_3000 УФ, Россия) при $\lambda = 750$ нм, используя калибровочные графики со стандартным раствором бычьего сывороточного альбумина (Calbiochem, Германия) на дистиллированной воде.

Определение липидного состава.

Липиды экстрагировали смесью хлороформа и метанола (1:2) с одновременным механическим разрушением тканей. Разделение липидов осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) [7]. Количество фосфолипидов (ФЛ) определяли по содержанию неорганического фосфора, гликолипидов (ГЛ) и нейтральных липидов (НЛ) – денситометрически на приборе «Денскан-04» (Ленхром, Россия). Хроматограммы анализировали в режиме параболической аппроксимации по градуировочным зависимостям, используя моногалактозилдиацилглицерин (МГДГ) и трипальмитат в качестве стандартов. Суммарное содержание (СЛ) липидов рассчитывали как сумму НЛ, ГЛ и ФЛ [15].

Статистика. Анализ каждого компонента проводили трижды в каждой биологической пробе. Данные в таблицах и на рисунках представлены как среднее арифметическое со стандартной ошибкой.

Результаты и обсуждение. В работе исследовано 4 вида растений рода *Artemisia*, три из которых являются аборигенными видами, а *A. sieversiana* относится к адвентивному виду [1]. Растения представляют разные жизненные формы. По экологическому режиму, обусловленному увлажнением, они являются мезо- и мезоксерофитами (табл. 1).

Как видно из приведенных данных таблицы 2 почва в местах произрастания исследованных образцов существенно различались

Таблица 1

Эколого-биологические особенности анализируемых видов

| Виды | Жизненная форма | Экологическая группа по увлажнению почвы | Генетический статус вида |
|-----------------------|--|--|--------------------------|
| <i>A. abrotanum</i> | Полукустарник; хамефит | Мезофит | аборигенный |
| <i>A. marshaliana</i> | Полукустарничек; хамефит | Мезоксерофит | аборигенный |
| <i>A. santonica</i> | Полукустарничек; хамефит | Мезоксерофит | аборигенный |
| <i>A. sieversiana</i> | Однолетник или двулетник; терофит, гемикриптофит | Мезофит | адвентивный |

Таблица 2

Почвенные факторы

| Виды | Влажность почвы, % | Соленость почвы, мг/г | pH почвы |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------|
| <i>A. abrotanum</i> | 18,2 | 1,0 | 7,1 |
| <i>A. marshaliana</i> | 8,0 | 1,0 | 8,4 |
| <i>A. santonica</i> | 15,6 | 11,0 | 8,4 |
| <i>A. sieversiana</i> | 5,3 | 1,0 | 7,5 |

по уровню увлажнения, солености и кислотности. Растения *A. abrotanum* и *A. santonica* произрастали на более увлажненной почве, чем *A. marshaliana* и *A. sieversiana*. В то же время анализ почвенного раствора показал высокое содержание соли (11,0 мг/г) в почве на месте произрастания растений *A. santonica*. Уровень pH соответствовал значениям 7,1–8,4, растения *A. abrotanum* и *A. sieversiana* произрастали на слабощелочных почвах – 7,1 и 7,5, а *A. marshaliana* и *A. santonica* на средне щелочных почвах.

Исследование состава и содержания пигментов является важной характеристикой процессов фотосинтеза, реализация которого влияет на рост и продуктивность растений. Наше исследование показало, что суммарное содержание пигментов в растениях варьировало в интервале 3,4–4,7 мг/г сухой массы (рис. 1, А).

При этом в листьях адвентивного вида *A. sieversiana* количество пигментов было в 1,7–2,3 раза выше, чем у аборигенных видов. Подобно содержанию пигментов обнаружено высокое содержание ВБ (рис. 1, Б). Однако по содержанию суммарных липидов такой закономерности между видами не выявлено (рис. 1В). Вместе с тем содержание липидов у *A. abrotanum* и *A. sieversiana* было ниже, чем у *A. marshaliana* и *A. santonica*, вероятно данный показатель связан с режимом увлажнения.

Вместе с общим содержанием пигментов был исследован индивидуальный состав. Установлено, что листья адвентивных растений *A. sieversiana* характеризовались более высоким содержанием хлорофиллов *a* (4,9 мг/г сухой массы) и *b* (1,7 мг/г), а также каротиноидов (1,2 мг/г) по сравнению с аборигенными видами (см. рис. 2).

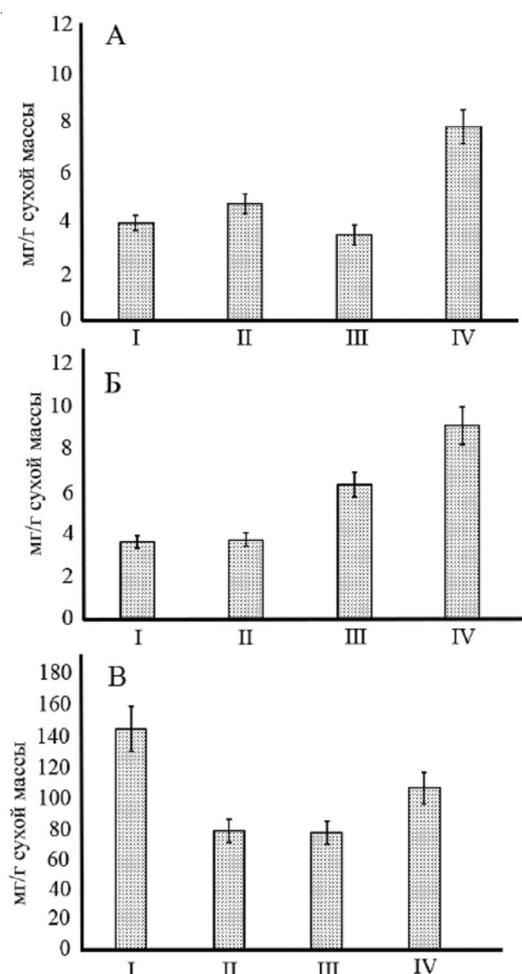


Рис. 1. Суммарное содержание пигментов (А), белков (Б) и липидов (В) в листьях растений Artemisia:

I – *A. abrotanum*, II – *A. marshaliana*, III – *A. santonica*, IV – *A. sieversiana*

Состав липидов, выделенных экстрактивным методом из клеток растений, обычно состоит из полярных липидов – структурного матрикса мембран – и нейтральных липидов. Боль-

шая часть компонентов НЛ является метаболическим и энергетическим резервом клетки. Согласно данным рисунка 3 у всех исследованных растений отмечали высокое содержание НЛ

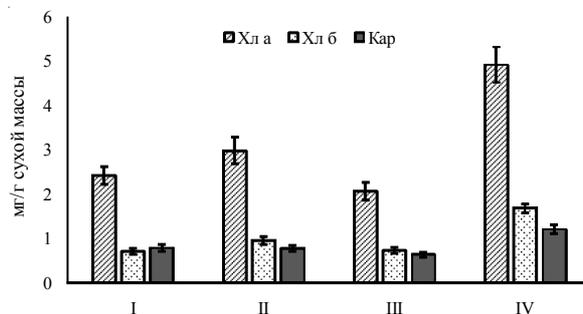


Рис. 2. Состав фотосинтетических пигментов в листьях растений *Artemisia*:
I – *A. abrotanum*, II – *A. marshalliana*, III – *A. santonica*, IV – *A. sieversiana*

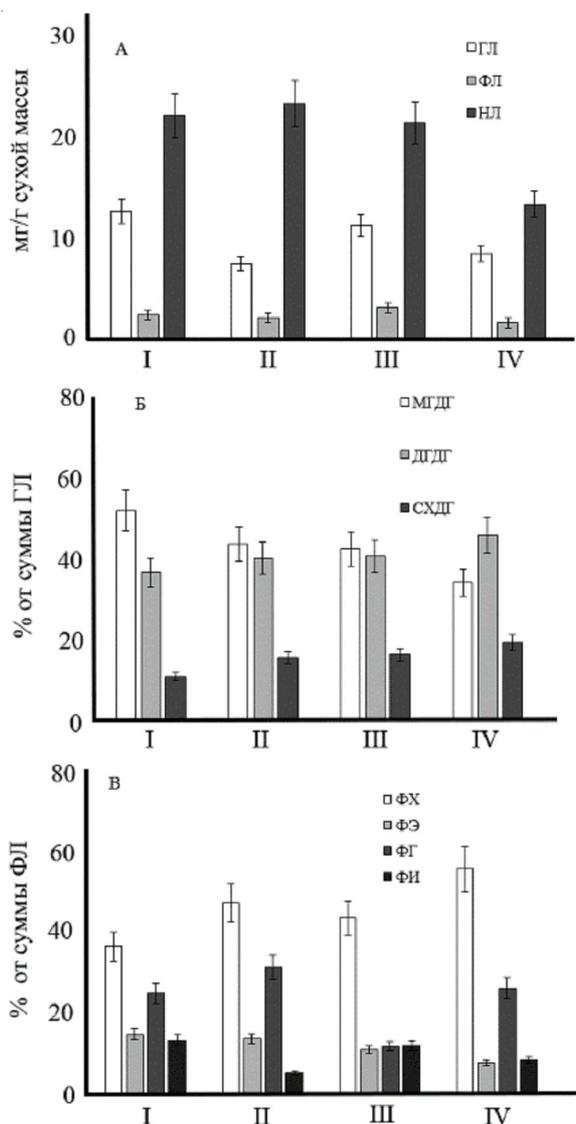


Рис. 3. Состав суммарных индивидуальных липидов в растения *Artemisia*:
I – *A. abrotanum*, II – *A. marshalliana*, III – *A. santonica*, IV – *A. sieversiana*

(13,4–23,4 мг/г сухой массы) по сравнению с ГЛ и ФЛ. В то же время содержание НЛ в растениях в *A. abrotanum*, *A. marshaliana*, *A. santonica* было примерно равным, но в 1,5 раза выше, чем в *A. sieversiana* (рис. 3, А).

Среди ГЛ, локализованных во внутренних мембранах хлоропластов, идентифицировали МГДГ, дигалактозилдиацилглицерин (ДГДГ) и сульфохиновозилдиацилглицерин (СХДГ). Известно, что обычно МГДГ и ДГДГ составляют около 50 % и 30 %, а на долю СХДГ приходится 5–12 % от суммы ГЛ [6]. В листьях мезофитного полукустарничка *A. abrotanum* можно видеть классическое распределение липидов, в котором содержание МГДГ оставило 52 %, ДГДГ – 37 %, а СХДГ – 11 % от суммы ГЛ (рис. 3, Б). В листьях кустарничков *A. marshaliana* и *A. santonica*, приуроченных к более засушливым условиям произрастания, количества МГДГ и ДГДГ были примерно равными при более высоком содержании СХДГ (15,0 и 16,0 %). В отличие от кустарничков в травянистом виде *A. sieversiana* содержание ДГДГ существенно превосходило содержание МГДГ, несмотря на то, что этот вид также как *A. abrotanum* является мезофитом. Выявленные различия у аборигенных видов связаны с режимом увлажнения, а существенная разница в соотношении ГЛ между аборигенными и адвентивными видами, по-видимому, определяется генетическим статусом вида.

Фракция ФЛ – структурного компонента непластидных мембран – содержала фосфатидил-холин (ФХ), -этаноламин (ФЭ), -глицерин (ФГ), -инозит (ФИ). В высших растениях такие компоненты как ФХ и ФЭ являются основными ФЛ непластидных мембран растений. Результаты нашего исследования показали, что во фракции ФЛ доминировали ФХ (56,0–36,7 %), при этом наибольшие значения в содержании ФХ были получены для *A. sieversiana* (рис. 3, В). Обычно в высших растениях содержание ФГ не превышает 12–15 % [8], результаты нашего исследования показали, что в составе ФЛ таких растений как *A. abrotanum*, *A. marshaliana* и *A. sieversiana* содержания ФГ превышало 30 % от суммы ФЛ.

Заключение. Полученные результаты показывают, что адвентивный вид *A. sieversiana* отличался от аборигенных видов более высо-

ким содержанием функционально активных групп таких молекул, как фотосинтетические пигменты, белки, НЛ, а также ФХ. Можно предположить, что выявленные различия в количественном содержании данных групп молекул может быть связано как с видовыми особенностями и генетическим статусом вида, так и местом произрастания растений и природно-климатическими условиями Сызранского района и Ульяновской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дронин, Г. В. Чужеродные адвентивные виды растений во флоре особо охраняемых природных территорий в бассейне р. Сызранки район Засызранье / Г. В. Дронин // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2014. – Т. 23, № 3. – С. 103–111.
2. Маслова, Т. Г. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов В / Т. Г. Маслова, И. А. Попова, О. Ф. Попова // Физиология растений. – 1986. – Т. 33, № 3. – С. 615–619.
3. Ямалов, С. М. Адвентивный компонент степных и луговых сообществ Южного Урала / С. М. Ямалов, А. В. Баянов, Я. М. Голованов // Вестник ОГУ. – 2013. – № 5. – С. 153–157.
4. Ashraf, M. A study on elemental contents of medicinally important species of *Artemisia* L. (Asteraceae) found in Pakistan / M. Ashraf, M. O. Hayat, F. S. Mumtaz // Journal of Medicinal Plants Research. – 2010. – Vol. 4. – P. 2256–2263.
5. Azimova, S. S. Asreraceae. / S. S. Azimova, A. I. Glushenkova // Lipids, Lipophilic Components and Essential Oils from Plant Sources / ed. by Y. Nakamura, Y. Li-Beisson. – New York [etc.] : Springer, 2012. – P. 56–103.
6. Hölzl, G. Structure and function of glycolipids in plants and bacteria / G. Hölzl, P. Dörmann // Progress Lipid Research. – 2007. – Vol. 46. – P. 225–243.
7. Kates, M. Techniques of lipidology / M. Kate. – Amsterdam : Elsevier, 1975. – 152 p.
8. Kobayashi, K. Roles of lipids in photosynthesis / K. Kobayashi, K. Endo, H. Wada // Lipids in plant and algae development (Eds.) Y. Nakamura, Y. Li-Beisson. – Switzerland : Springer, Intern. Pub., 2016. – P. 21–51.
9. Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes / H. K. Lichtenthaler // Methods in Enzymology / ed. by R. Dous, L. Packer. – N. Y. : Academic Press Inc, 1987. – P. 350–382.

10. Molecular phylogeny of Subtribe Artemisiinae (Asteraceae), including *Artemisia* and its allied and segregate genera / L. E. Watson [et al.] // *BMC Evolutionary Biology*. – 2002. – Vol. 2. – P. 17.

11. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions / D. M. Richardson [et al.] // *Diversity and Distributions* – 2006. – Vol. 6. – P. 3–107.

12. Nutritional characterization and antioxidant capacity of different tissues of *Artemisia annua* L. / E. A. Brisibe [et al.] // *Food Chemistry*. – 2009. – Vol. 115. – P. 1240–1246.

13. Protein measurement with the Folin phenol reagent / O. H. Lowry [et al.] // *The Journal of Biological Chemistry*. – 1951. – Vol. 193. – P. 265–275.

14. Pyšek, P. Alien flora of the Czech Republic, its composition, structure and history / P. Pyšek, J. Sádlo, B. Mandák // *Plant Invasions: Ecological Threats and Management Solutions* / ed. by L. E. Child, [et al.]. – Leiden : Williamson Backhuys Publishers, 2003. – P. 113–130.

15. Rozentsvet, O. A. The composition of membranes of wild-growing halophytes with various mechanisms of salt exchange regulation depending on the abiotic factors of the medium / O. A. Rozentsvet, V. N. Nesterov, E. S. Bogdanova // *Biochemistry Supplement Series A: Membrane and Cell Biology*. – 2014. – Vol. 31. – P. 137–146.

16. Teixeira da Silva, J. A. Mining the essential oils of the Anthemideae / J. A. Teixeira da Silva // *African Journal of Biotechnology*. – 2004. – Vol. 3. – P. 706–720.

17. The *Artemisia* L. Genus: a review of bioactive essential oil / M. J. Abad [et al.] // *Molecules*. – 2012. – Vol. 17. – P. 2542–2566.

REFERENCES

1. Dronin G.V. Chuzherodnye adventivnye vidy rasteniy vo flore osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy v bassejne r. Syzranki rayon Zasyzranye [Alien Adventitious Plant Species in the Flora of Specially Protected Natural Areas in the Basin of the River Syzranka, District Zasyzranye]. *Samarckaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 103-111.

2. Maslova T.G., Popova I.A., Popova O.F. Kriticheskaya otsenka spektrofotometricheskogo metoda kolichestvennogo opredeleniya karotinoidov V [Critical Evaluation of the Spectrophotometric Method of Quantitative Determination of Carotenoids B]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology], 1986, vol. 33, no. 3, pp. 615-619.

3. Yamalov S.M., Bayanov A.V., Golovanov Ya.M. Adventivnyy komponent stepnykh i lugovykh soobshchestv Yuzhnogo Urala [Adventive Component of Steppe and Meadow Communities of

the Southern Urals]. *Vestnik OGU* [J. Orenburg St. Univ.], 2013, no. 5, pp. 153-157.

4. Ashraf M., Hayat M.O., Mumtaz F.S. A study on elemental contents of medicinally important species of *Artemisia* L. (Asteraceae) found in Pakistan. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2010, vol. 4, pp. 2256-2263.

5. Azimova S.S., Glushenkova A.I. *Asreraceae. Lipids, Lipophilic Components and Essential Oils from Plant Sources*. New York, Dordrecht, Heidelberg; London, Springer, 2012, pp. 56-103.

6. Hölzl G., Dörmann P. Structure and function of glycolipids in plants and bacteria. *Progress in Lipid Research*, 2007, vol. 46, pp. 225-243.

7. Kates M. *Techniques of lipidology*. Amsterdam, Elsevier, 1975. 152 p.

8. Kobayashi K., Endo K., Wada H. Roles of lipids in photosynthesis. Nakamura Y., Li-Beisson Y., eds. *Lipids in plant and algae development*. Switzerland, Springer, 2016, pp. 21-51.

9. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes. Dous R., Packer L., eds. *Methods in Enzymology*. New York, Academic Press Inc, 1987, pp. 350-382.

10. Watson L.E., Bates P.L., Evans T.M. Molecular phylogeny of Subtribe Artemisiinae (Asteraceae), including *Artemisia* and its allied and segregate genera. *BMC Evolutionary Biology*, 2002, vol. 2, p. 17.

11. Richardson D.M., Pysek P., Rejmánek M. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 2006, vol. 6, pp. 3-107.

12. Brisibe E.A., Umoren U.E., Brisibe F., et al. Nutritional characterization and antioxidant capacity of different tissues of *Artemisia annua* L. *Food Chemistry*, 2009, vol. 115, pp. 1240-1246.

13. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of Biological Chemistry*, 1951, vol. 193, pp. 265-275.

14. Pyšek P., Sádlo J., Mandák B. Alien flora of the Czech Republic, its composition, structure and history. Child L.E., Brock J.H., Brundu G., eds. *Plant Invasions: Ecological Threats and Management Solutions*. Leiden, Williamson Backhuys Publishers, 2003, pp. 113-130.

15. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. The composition of membranes of wild-growing halophytes with various mechanisms of salt exchange regulation depending on the abiotic factors of the medium. *Biochemistry Supplement. Series A: Membrane and Cell Biology*, 2014, vol. 31, pp. 137-146.

16. Teixeira da Silva J.A. Mining the essential oils of the Anthemideae. *African Journal of Biotechnology*, 2004, vol. 3, pp. 706-720.

17. Abad M.J., Bedoya L.M., Apaza L., Bermejo P. The *Artemisia* L. Genus: a review of bioactive essential oil. *Molecules*, 2012, vol. 17, pp. 2542-2566.

Information about the Authors

Elena S. Bogdanova, Candidate of Sciences (Biology), Researcher, Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Komzina St., 10, 445003 Tolyatti, Russian Federation, cornales@mail.ru.

Viktor N. Nesterov, Candidate of Sciences (Biology), Researcher, Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Komzina St., 10, 445003 Tolyatti, Russian Federation, nesvik1@mail.ru.

Olga A. Rozentsvet, Doctor of Sciences (Biology), Leading Researcher, Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences, Komzina St., 10, 445003 Tolyatti, Russian Federation, olgarozen55@mail.ru.

Svetlana N. Zubova, Postgraduate Student, Department of Biochemistry, Biotechnology and Bioengineering, Samara National Research University, Moskovskoe shosse St., 34, 443086 Samara, Russian Federation, svetlana.zubova2010@yandex.ru.

Olga N. Makurina, Doctor of Sciences (Biology), Professor of the Department of Biochemistry, Biotechnology and Bioengineering, Samara National Research University, Moskovskoe shosse St., 34, 443086 Samara, Russian Federation, makurina.on@mail.ru.

Информация об авторах

Елена Сергеевна Богданова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт экологии Волжского бассейна РАН, ул. Комзина, 10, 445003 г. Тольятти, Российская Федерация, cornales@mail.ru.

Виктор Николаевич Нестеров, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт экологии Волжского бассейна РАН, ул. Комзина, 10, 445003 г. Тольятти, Российская Федерация, nesvik1@mail.ru.

Ольга Анатольевна Розенцвет, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт экологии Волжского бассейна РАН, ул. Комзина, 10, 445003 г. Тольятти, Российская Федерация, olgarozen55@mail.ru.

Светлана Николаевна Зубова, аспирант кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, ул. Московское шоссе, 34, 443086 г. Самара, Российская Федерация, svetlana.zubova2010@yandex.ru.

Ольга Николаевна Макурина, доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии, Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, ул. Московское шоссе, 34, 443086 г. Самара, Российская Федерация, makurina.on@mail.ru.