



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 342–346

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 342–346

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-342-346>

Научная статья

УДК 58.009

Пространственно-возрастная структура ценопопуляций *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) в северо-восточной части ареала



А. О. Кондратьева[✉], А. С. Пархоменко, А. С. Кашин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Кондратьева Анна Олеговна, ведущий биолог лаборатории микрклонального размножения растений УНЦ «Ботанический сад», porova.ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>

Пархоменко Алена Сергеевна, кандидат биологических наук, заведующая отделом биологии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад», parkhomenko_as@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>

Кашин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор кафедры генетики, kashinas2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>

Аннотация. Представлены результаты изучения пространственно-возрастной структуры пяти ценопопуляций вида *Globularia bisnagarica* L., произрастающих на территории Оренбургской области и Республики Татарстан. Анализ возрастной структуры с применением алгоритма программы OntoParam выявил гетерогенность онтогенетических спектров большинства ценопопуляций. Оценка параметров средней возрастности, индекса восстановления и индекса старения показала, что большинство ценопопуляций способны к самовосстановлению и поддержанию численности. Анализ пространственной структуры с учетом онтогенетического состояния особей показал, что пространственное взаиморасположение прегенеративных и генеративных особей в большинстве случаев носит случайный характер, что говорит об отсутствии каких-либо ярко выраженных взаимодействий между растениями этих возрастных групп. В ценопопуляции из Северного р-на Оренбургской области отмечена небольшая разреженность во взаиморасположении прегенеративных и генеративных особей, что может быть обусловлено влиянием внутривидовой конкуренции.

Ключевые слова: *Globularia bisnagarica* L., пространственно-возрастная структура, R-среда

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-74-00004).

Для цитирования: Кондратьева А. О., Пархоменко А. С., Кашин А. С. Пространственно-возрастная структура ценопопуляций *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) в северо-восточной части ареала // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 3. С. 342–346. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-342-346>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Spatial-ontogenetic structure of *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) cenopopulations

А. О. Kondratieva[✉], А. S. Parkhomenko, А. S. Kashin

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410010, Russia

Anna O. Kondratieva, popova.ao@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>

Alena S. Parkhomenko, parkhomenko_as@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>

Alexandr S. Kashin, kashinas2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>

Abstract. The results of studying the spatial-ontogenetic structure of five cenopopulations of *Globularia bisnagarica* L. on the territory of the Orenburg region and the Republic of Tatarstan are presented. Analysis of the age structure using the OntoParam program algorithm revealed the heterogeneity of ontogenetic spectra in most cenopopulations. Assessment of the parameters of average age, recovery index and ageing index showed that most cenopopulations are capable of self-restoration and maintenance of numerosity. Analysis of spatial structure taking into account the ontogenetic state of individuals showed that the spatial relationships between pregenerative and generative individuals is random in most cases, which indicates the absence of any pronounced interactions between plants from these age groups. In the cenopopulation from Severny district of the Orenburg region, there is a slight sparseness in the mutual arrangement of pregenerative and generative individuals, which may be due to the influence of intraspecific competition.

Key words: *Globularia bisnagarica* L., spatial-ontogenetic structure, R-environment

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 21-74-00004).



For citation: Kondratieva A. O., Parkhomenko A. S., Kashin A. S. Spatial-ontogenetic structure of *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) cenopopulations. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 3, pp. 342–346. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-3-342-346>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Для оценки состояния ценопопуляций редких видов растений традиционно применяются методы популяционной экологии, при этом пространственная и возрастная структуры являются важными диагностическими параметрами, позволяющими охарактеризовать устойчивость популяции на данном этапе своего развития [1, 2]. Анализ пространственного взаиморасположения особей разных возрастных групп позволяет выявить специфику их взаимоотношений внутри ценопопуляции и оценить степень влияния внутривидовой конкуренции, аллелопатии, способа диссеминации на формирование пространственного рисунка ценопопуляции.

Объектом исследования является редкий, реликтовый вид *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) с дизъюнктивным ареалом. Это многолетнее травянистое растение, местообитания которого приурочены к эродированным формам рельефа с выходом на поверхность карбонатных пород. Основная часть ареала находится в Атлантической, Центральной, Южной и Юго-Вос-

точной Европе, Средиземноморье. На территории Российской Федерации ареал вида представлен двумя дизъюнктами: первый из них охватывает несколько регионов Среднего Поволжья: Самарскую, Ульяновскую, Саратовскую области, а также Оренбургскую обл., Республику Татарстан и Башкортостан. Второй дизъюнкт находится на значительном удалении от первого и включает в себя местообитания вида в пределах Ставропольской возвышенности. Вид включен в Красную книгу Российской Федерации, Республик Башкортостан и Татарстан, а также в Красные книги всех регионов, на территории которых встречается [3].

Материалы и методы

Исследование проводилось в 2020 г. в пяти ценопопуляциях (ЦП) *G. bisnagarica*, произрастающих на территории Оренбургской обл. (Alb – Пономаревский р-н, окр. с. Алябьево; Slт – Александровский р-н, окр. с. Султакай; Bkv – Северный р-н, окр. с. Бакаево) и Республики Татарстан (Bvl – Бавлинский р-н, окр. г. Бавлы; Krb – Бугульминский р-н, окр. п. Карабаш) (рис. 1).

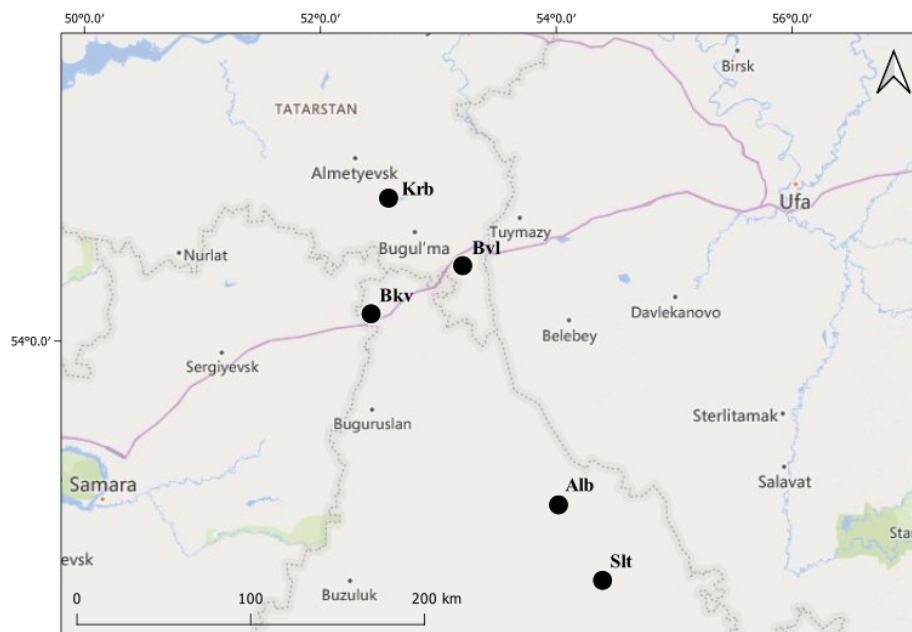


Рис. 1. Местоположение исследованных ценопопуляций *Globularia bisnagarica* L.: Alb – Оренбургская обл., Пономаревский р-н, окр. с. Алябьево; Slт – Оренбургская обл., Александровский р-н, окр. с. Султакай; Bkv – Оренбургская обл., Северный р-н, окр. с. Бакаево; Bvl – Республика Татарстан, Бавлинский р-н, окр. г. Бавлы; Krb – Республика Татарстан, Бугульминский р-н, окр. п. Карабаш (цвет online)

Fig. 1. Location of the studied *Globularia bisnagarica* cenopopulations: Alb – Orenburg region, Ponomarevsky district, Alyabyevo; Slт – Orenburg region, Aleksandrovsky district, Sultakay; Bkv – Orenburg region, Severny district, Bakaevo; Bvl – Republic of Tatarstan, Bavlinsky district, Bavlly; Krb – Republic of Tatarstan, Bugulminsky district, Karabash (color online)



Для каждой ЦП в пределах постоянной пробной площади случайным образом закладывались 7 учетных площадок площадью 1 м², на которых подсчитывались особи *G. bisnagarica* с учетом онтогенетических состояний. Для анализа онтогенетических спектров исследуемых ЦП использовались такие параметры, как средняя возрастность [4], индекс восстановления и индекс старения [5, 6]. Данные индексы позволяют судить о способности ЦП к самоподдержанию и самовосстановлению численности. Согласно методике сбора материала каждая выборка (ЦП) включает в себя данные нескольких субвыборок (учетных площадок). В связи с этим при оценке и сравнении онтогенетических параметров необходимо учитывать особенности распределения данных, так как от этого зависит обоснованность применения тех или иных статистических методов. В данной работе использовался алгоритм статистической обработки, представленный в программе OntoParam [7].

Для выявления особенностей пространственной структуры ЦП две учетные площадки были зартированы с использованием условных обозначений, указывающих на принадлежность особей к той или иной возрастной группе. Далее карты-схемы сканировались, а полученные изображения оцифровывались для съемки условных координат размещения особей в пределах площадок.

Пространственный анализ выполнялся с использованием программного пакета Spatstat [8]. С целью упрощения процедуры пространственного анализа и интерпретации его результатов выделялись две возрастные группы: прегенеративная и генеративная. Первый этап анализа представлял собой оценку интенсивности процесса, порождающего наблюдаемый пространственный рисунок, и ее визуализацию в виде карт локальных плотностей [9]. Анализ пространственных взаимодействий между прегенеративными и генеративными

особями осуществлялся с применением парной корреляционной функции (*pair correlation function, pcf*) кросс-типа [10]. Для определения значимости отклонений поведения эмпирических функций от их теоретических значений использовался метод на основе симуляций Монте-Карло [11]. С помощью данного метода выявлялась область принятия нулевой гипотезы о полной пространственной случайности и независимости компонентов (*Completely spatial randomness and independence of components, CSRI*). Выход функции за нижнюю границу области интерпретируется как разреженность в наблюдаемом точечном рисунке, превышение функции над областью указывает на наличие агрегаций. Все вычисления проводились в среде статистического программирования R [12].

Результаты и их обсуждение

Гетерогенность онтогенетических спектров учетных площадок была обнаружена в четырех ЦП *G. bisnagarica*, т.е. условие однородности учетных площадок соблюдалось лишь в одной ЦП – Bvl. Было установлено, что значения средней возрастности и индекса старения в разных ценопопуляциях достоверно различаются. Парные сравнения показали, что наиболее отличающейся от всех других исследованных популяций является ЦП Bvl. При этом для нее характерны максимальные значения средней возрастности и индекса старения, наряду с минимальной средней плотностью особей на площадке. Минимальное значение средней возрастности и максимальная средняя плотность особей отмечены в ЦП Krb (таблица). Сравнение значений индекса восстановления не выявило достоверных различий между популяциями по данному параметру. Его среднее значение составило 0.79. Доля влияния изменчивости по значению средней возрастности в общей изменчивости всех онтогенетических спектров составила 0.6, по индексу старения 0.5.

Средняя возрастность и индекс старения в ценопопуляциях *Globularia bisnagarica*
Average age and aging index in *Globularia bisnagarica* cenopopulations

ЦП / Cenopopulation	Количество пробных пло- щадок, шт. / Number of sample plots, pcs	Число растений на площадке (min–max), шт. / Number of plants on plot (min–max), pcs	Средняя плотность особей на площадке шт./м ² / Mean density of individuals on plot, pcs/m ²	Значение средней возрастности и его 95% доверительный интервал / Average age value and its 95% confidence interval	Индекс старения и его 95% доверительный интервал / Aging index and its 95% confidence interval
Alb	7	11–38	26.7±3.85	0.25–0.28–0.33	0
Bkv	7	29–449	178.6±66.16	0.09–0.15–0.24	0–0.002–0.005
Bvl	7	13–33	20.4±2.70	0.36–0.42–0.48	0.04–0.1–0.2
Krb	7	12–677	180.3±90.37	0.07–0.1–0.17	0
Slr	7	17–43	29.4±3.92	0.23–0.26–0.28	0

Примечание. Максимальные значения выделены жирным шрифтом, минимальные – курсивом.
Note. Maximum values are in bold, minimum values are in italics.



Анализ пространственной структуры ценопопуляций по всей совокупности площадок с выделением двух возрастных групп показал, что взаиморасположение прегенеративных и гене-

ративных особей в большинстве случаев (80%) носит случайный характер, в 20% случаев (ЦП Вкв) наблюдается разреженность особей при малых радиусах взаимодействия (рис. 2).

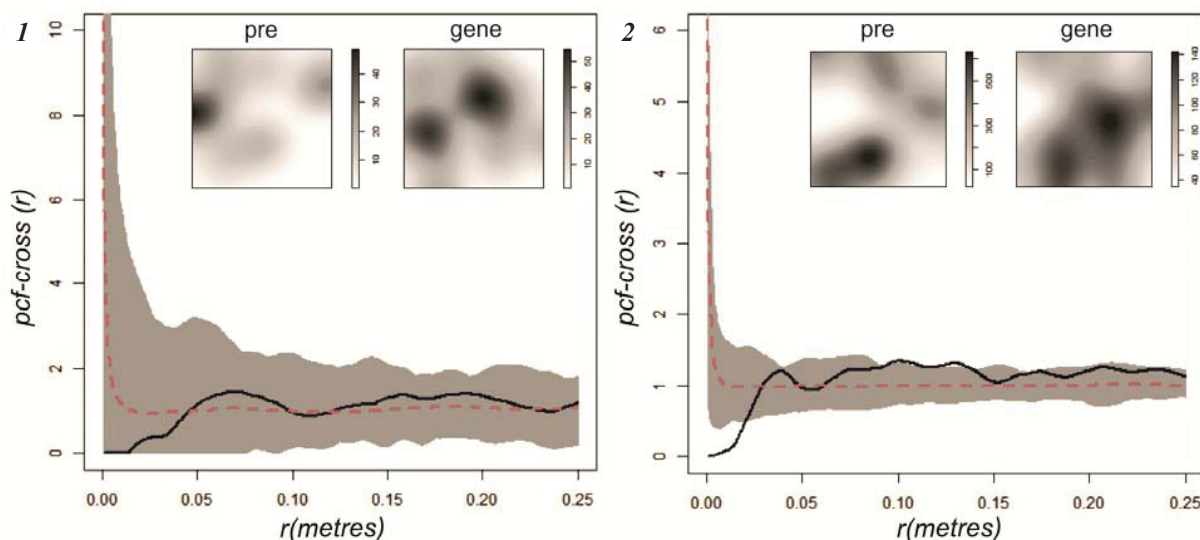


Рис. 2. Примеры поведения парной корреляционной функции кросс-типа и карты локальных плотностей в ценопопуляциях *Globularia bisnagarica* (pre – прегенеративная и gene – генеративная группы): 1 – случайное распределение; 2 – разреженность при малом радиусе взаимодействия. На графиках: сплошная черная линия – оценка эмпирической функции; красная пунктирная линия – оценка теоретической функции в случае CSRI; серой заливкой отмечена область принятия гипотезы о CSRI (цвет online)

Fig. 2. Examples of cross-type pair correlation function and maps of the local densities in *Globularia bisnagarica* cenopopulations (pre – pregenerative and gene – generative groups). 1 – random distribution; 2 – sparseness at a small interaction radius. On plots: solid black line – the empirical function; red dotted line – the theoretical function under CSRI; shaded areas – the simulation envelopes of CSRI (color online)

Заключение

Таким образом, анализ онтогенетических спектров пяти ценопопуляций *G. bisnagarica*, произрастающих на территории Оренбургской области и Республики Татарстан, показал, что данные ЦП способны к самовосстановлению и поддержанию численности.

Наиболее возрастной является ЦП из Бавлинского района Республики Татарстан (Ввл). Все остальные ценопопуляции характеризуются меньшим показателем средней возрастной.

Пространственное взаиморасположение прегенеративных и генеративных особей в большинстве ценопопуляций носит случайный характер. Присутствие небольшой разреженности между прегенеративными и генеративными особями в ЦП из Северного р-на Оренбургской области (Вкв), вероятнее всего, обусловлено наличием слабо выраженной внутривидовой конкуренции между растениями этих возрастных групп.

Список литературы

1. Богослов А. В., Шилова И. А., Пархоменко А. С., Крицкая Т. А., Гребенюк Л. В., Кашин А. С. Состояние популяций видов *Delphinium* L. (Ranunculaceae, Magnoliopsida) в Нижнем Поволжье и на прилегающих территориях // Поволжский экологический журнал. 2020. № 3. С. 271–289. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-3-271-289>
2. Шилова И. В., Пархоменко А. С., Денисов А. А., Кондратьева А. О., Кашин А. С. Эколого-ценотическая характеристика сообществ с *Globularia bisnagarica* L. в Среднем и Нижнем Поволжье // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 1. С. 99–113. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-1-99-113>
3. Kondratieva A. O., Parkhomenko A. S., Bogoslov A. V., Shilova I. V., Kashin A. S. Spatial structure of *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) coenopopulations // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2021. № 1. P. 35–46. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-35-46>
4. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки. 1975. № 2. С. 7–34.



5. Жукова Л. А. Динамика популяций луговых растений в естественных фитоценозах // Динамика ценопопуляций травянистых растений. Киев : Наукова Думка, 1987. С. 9–19.
6. Глотов Н. В. Об оценке параметров возрастной структуры популяции растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Йошкар-Ола : Периодика Марий Эл, 1998. Ч. I. С. 146–149.
7. Программа для оценки и сравнения параметров онтогенетических спектров популяций растений и лишайников при гетерогенности выборки «OntoParam». MapГУ : сайт. URL: <http://marsu.ru/structur/BasicUnits/fakultet/bhf/program.php> (дата обращения: 17.02.2021).
8. Baddeley A., Rubak E., Turner R. *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*. London: Chapman and Hall/CRC Press, 2015. 810 p. URL: <http://www.crcpress.com/Spatial-Point-Patterns-Methodology-and-ApplicationswithR/Baddeley-Rubak-Turner/9781482210200/> (дата обращения: 27.01.2021).
9. Теория пространственных точечных процессов в задачах экологии и природопользования (с применением пакета R): учебное пособие / сост.: А. А. Савельев, С. С. Мухарамова, Н. А. Чижикова, А. Г. Пилюгин. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2014. 146 с.
10. Lotwick H. W., Silverman B. W. Methods for analysing spatial processes of several types of points // *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*. 1982. № 44. P. 406–413.
11. Besag J., Diggle P. J. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern // *Applied Statistics*. 1977. № 26. P. 327–233.
12. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. URL: <http://www.R-project.org/> (дата обращения: 27.01.2021).
3. Kondratieva A. O., Parkhomenko A. S., Bogoslov A. V., Shilova I. V., Kashin A. S. Spatial structure of *Globularia bisnagarica* L. (Plantaginaceae) coenopopulations. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 1, pp. 35–46. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-35-46>
4. Uranov A. A. Age spectrum of phytocenopopulations as a function of time and energy wave processes. *Biologicheskije nauki*, 1975, no. 2, pp. 7–34 (in Russian).
5. Zhukova L. A. Dynamics of populations of meadow plants. In: *Dinamika cenopopulyacij travyanistyh rastenij* [Dynamics of Cenopopulations of Herbaceous Plants]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1987, pp. 9–19 (in Russian).
6. Glotov N. V. Estimation of the parameters of the age structure of the plant population. In: *Zhizn' populyacij v geterogennoj srede* [Life of Populations in a Heterogeneous Environment]. Yoshkar-Ola, Periodika Marij El Publ., 1998, pt. I, pp. 146–149 (in Russian).
7. *Programma dlya ocenki i sravneniya parametrov ontogeneticheskikh spektrov populyacij rastenij i lishajnikov pri geterogennosti vyborki «OntoParam»* (A program for assessing and comparing the parameters of ontogenetic spectra of plant and lichen populations with a heterogeneity of the sample «OntoParam»). Available at: <http://marsu.ru/structur/BasicUnits/fakultet/bhf/program.php> (accessed 17 February 2021) (in Russian).
8. Baddeley A., Rubak E., Turner R. *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*. London, Chapman and Hall/CRC Press, 2015. 810 p. Available at: <http://www.crcpress.com/Spatial-Point-Patterns-Methodology-and-ApplicationswithR/Baddeley-Rubak-Turner/9781482210200/> (accessed 27 January 2021) (in Russian).
9. *Teoriya prostranstvennyh tochechnykh processov v zadachah ekologii i prirodopol'zovaniya (s primeneniem paketa R)* [A. A. Savel'ev, S. S. Muharamova, N. A. Chizhikova, A. G. Pilyugin, compls. The Theory of Spatial Point Processes in Problems of Ecology and Nature Management (using the R package)]. Kazan', Izd-vo Kazan. un-ta, 2014. 146 p. (in Russian).
10. Lotwick H. W., Silverman B. W. Methods for analysing spatial processes of several types of points. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 1982, no. 44, pp. 406–413.
11. Besag J., Diggle P. J. Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. *Applied Statistics*, 1977, no. 26, pp. 327–233.
12. *R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. Available at: http://www.R-project.org/ (accessed 27 January 2021).*

Поступила в редакцию 03.05.21, после рецензирования 12.05.21, принята к публикации 14.05.21
Received 03.05.21, revised 12.05.21, accepted 14.05.21