

УДК 581.9(476)

**ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ
КОПЕЕЧНИКА КРУПНОЦВЕТКОВОГО
(*HEDYSARUM GRANDIFLORUM* PALL., *FABACEAE*)
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАТИСТИКИ**

© 2019 Т.Е. Зенкина^{1, 2}, В.Н. Ильина³

¹ ООО «Волгограднефтепроект», г. Волгоград (Россия),

² Волгоградский государственный университет, г. Волгоград (Россия)

³ Самарский государственный социально-педагогический университет,
г. Самара (Россия)

Поступила 10.10.2018

Изучены особенности пространственного размещения особей *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) в популяции Серноводского шихана (Сергиевский район Самарской области). Для оценки размещения *Hedysarum grandiflorum* в пределах его ценопопуляции использовались современные методы пространственной статистики. Согласно поведению функции Рипли, отмечалось случайное размещение особей копеечника на расстоянии не менее 0,4 м. Значения индекса Мориситы варьировали в пределах 0,6-2,5, что говорит о склонности молодых растений к агрегации.

Ключевые слова: *Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae, популяция, онтогенетическая структура, Красная книга, Самарская область.

Zenkina T.E., Ilyina V.N. Characteristics of the structure of coenopopulation *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) using spatial statistics methods. – The features of the spatial distribution of individuals *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) in the population of Sernovodsky shihan (Sergievsky district, Samara region). To estimate the location of *Hedysarum grandiflorum* within its price-distribution, modern methods of spatial statistics were used. According to the behavior of the Ripley's function, there was a random distribution of the kopeck specimens at a distance of at least 0.4 m. The values of the Moricita index varied from 0.6 to 2.5, indicating that young plants tend to aggregate.

Key words: *Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae, population, ontogenetic structure, Red Data Book, Samara region.

Исследования пространственной структуры ценопопуляций (ЦП) *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae), в том числе во взаимосвязи типа размещения особей с их онтогенетическими состояниями являются актуальным дополнением к работам по изучению онтоморфогенеза, онтогенетической и виталитетной структуры его ЦП (Ильина, 2004, 2006, 2013, 2014, 2015;

Лаврентьев, Степанов, 2009; Супрун, Шанцер, 2012; Мулдашев и др., 2013; Супрун, 2013; Abramova et al., 2014; Абрамова и др., 2016). Ранее закономерности распределения особей копеечника крупноцветкового выполнялись с использованием классических методов расчетов коэффициента дисперсии (Ильина, 2006, 2012, 2014).

Hedysarum grandiflorum Pall. – редкий вид на территории Самарской области (рис. 1). Включен в Красную книгу Российской Федерации (2008) – категория 3в. Находится под охраной в Республике Татарстан (Красная книга..., 2016) – категория 3, областей Оренбургской (Поста-

Зенкина Татьяна Евгеньевна, кандидат биологических наук, tatyanaez@mail.ru; Ильина Валентина Николаевна, кандидат биологических наук, 5iva@mail.ru

новление Правительства..., 2014) – категория 1, Саратовской (Красная книга..., 2006) – категория 3 и Ульяновской (Красная книга..., 2015) – категория 2.

Особенности пространственного размещения особей редких видов растений, в том числе

и копеечника, изучается нами на территории памятника природы регионального значения «Серноводный шихан» (местное название «Серноводский шихан», Сергиевский район, Самарская область) (рис. 2).



Рис. 1. *Hedysarum grandiflorum* в местообитании с низкой антропогенной нагрузкой (фото В.Н. Ильиной, Самарская область)



Рис. 2. Серноводный (Серноводский) шихан (фото В.Н. Ильиной)

В данной работе для оценки размещения *Hedysarum grandiflorum* в пределах его ценопопуляции использовались современные методы пространственной статистики. Так осуществлялся расчет $K(r)$ функции Рипли (Ripley, 1976, 1977), результаты расчетов представлялись в виде функции $L(r)-r$, где $L(r)=\sqrt{K(r)}/\pi$ (Besag, 1977). Для анализа пространственных закономерностей между расположением двух классов особей использовалась кросс-функция Рипли. Оценка плотности размещения особей выполнялась с помощью метода бегущего или скользящего окна (*moving window*) (Bailey, Gatrell, 1995) на основе ядерных функций *kernel* (*kernel function*) (Silverman, 1986; Scott, 1992). Для оценки значимости наблюдаемых отклонений $L(r)$ от $L_{CSR}(r)$ использовался метод симуляций Монте-Карло (Besag, 1977). Выполнялось построение карт распределения доминирующих онтогенетических состояний. Данные карты позволяют выделить фрагменты территории, где число особей в прегенеративных возрастных состояниях (*pre*) превышает число генеративных экземпляров (*gene*) (т.е. $p = n_{pre} / n_{gene} > 0,5$) (Мастицкий, Шитиков, 2014; Шитиков, Розенберг, 2014). Для оценки интенсивности размещения особей также использовался «метод квадратов» и расчет индекса Мориситы (Morisita, 1959; Савельев и др., 2014; Шитиков, Розенберг, 2014).

Вычисления производились в среде R (version 3.3.2) с помощью пакета SPATSTAT (Baddeley, Turner, 2005).

Исследования подобного рода становятся все более востребованными при изучении популяционной структуры редких видов растений (Фардеева и др., 2010; Фардеева, 2013; Зенкина, 2016; Зенкина и др., 2017; Сагалаев и др., 2017).

Нами изучены особенности пространственного размещения особей *Hedysarum grandiflorum* в популяции на Серноводном шихане. На стационарном участке в составе сообщества доминантом является *Artemisia salsoloides* Willd., содоминирующими видами являются *Stipa korshinskyi* Roshev. и *Hedysarum grandiflorum* Pall. (*Artemisia salsoloides* Willd. + *Hedysarum grandiflorum* Pall. - *Stipa korshinskyi* Roshev.). Популяция зарегистрирована на юго-западном склоне (в верхней части, 10°), проективное покрытие почвы травостоем около 25%. Также среди видов, произрастающих на участке, отмечены редкие представители петрофитной флоры *Ephedra distachya* L., *Scabiosa isetensis* L., *Onosma simplicissima* L. и *Oxytropis floribunda* (Pall.) DC. Плотность особей видов в сообществе: *Stipa korshinskyi* – 3,0, *Artemisia*

salsoloides – 3,0, *Oxytropis floribunda* – 3,0, *Ephedra distachya* – 2,5, *Scabiosa isetensis* – 1,4, *Onosma simplicissima* – 1,1 особей на 1 м².

Общее количество растений копеечника на исследуемой территории составило всего 23 особи, которые размещались с довольно низкой плотностью (1-1,8 особей/м²) (рис. 3).

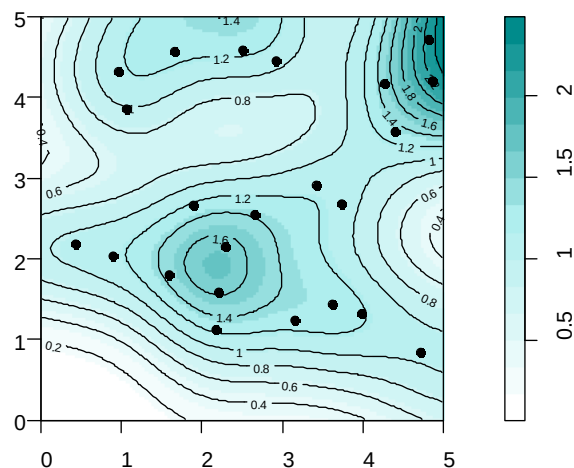


Рис. 3. Карта-схема локальной плотности ЦП *Hedysarum grandiflorum* (чёрные точки – особи копеечника)

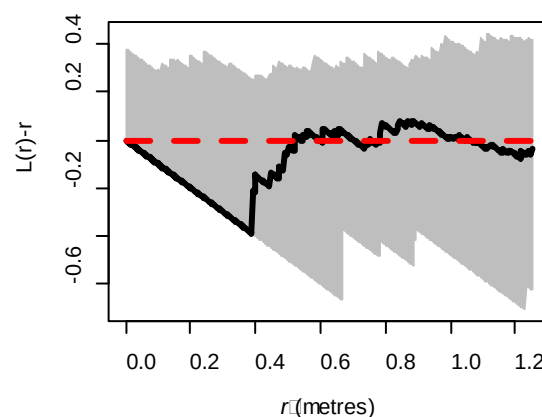


Рис. 4. Поведение функции Рипли (все особи без выделения возрастных состояний)

Использование методов пространственной статистики позволило достоверно определить тип пространственной структуры данной ЦП *Hedysarum grandiflorum*. Так, согласно поведению функции Рипли, отмечалось случайное размещение особей копеечника на расстоянии не менее 0,4 м (рис. 4).

Для выявления наличия или отсутствия закономерностей поведения прегенеративных и генеративных особей *Hedysarum grandiflorum* осуществлялось построение карты распределения доминирующих возрастных состояний (рис. 5). На данной карте зеленым цветом отмечались участки, на которых преобладали про-

ростки, белым цветом выделялись фрагменты территории, на которых доминировали генеративные особи. Было зафиксировано, что взрослые растения находились ближе к центральной части площадки, молодые ближе к периферии. Подобные карты позволяют спрогнозировать возможное дальнейшее распространение особей копеечника разных возрастов в границах исследуемой территории (Шитиков, Розенберг, 2014).

Графическая интерпретация функции Рипли показала, что пространственное размещение генеративных особей происходит случайным образом (рис. 6).

Значения индекса Мориситы варьировали в пределах 0,6-2,5, что говорит о склонности молодых растений к агрегации (рис.7).

Согласно поведению кросс-функции Рипли выявлено, что взаимное размещение особей двух групп возрастных состояний происходит случайно (рис. 8).

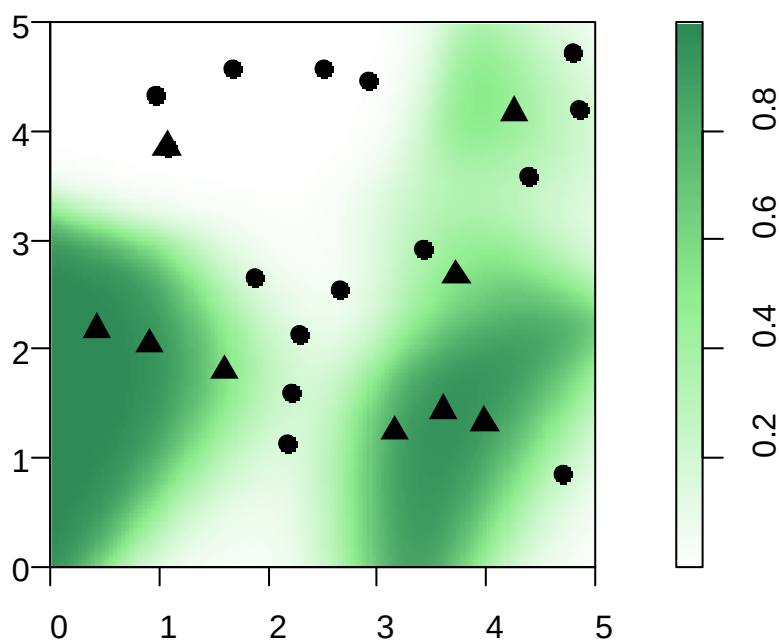


Рис. 5. Карта распределения возрастных состояний ЦП *Hedysarum grandiflorum* (чёрные точки – генеративные особи, черные треугольники – прегенеративные особи)

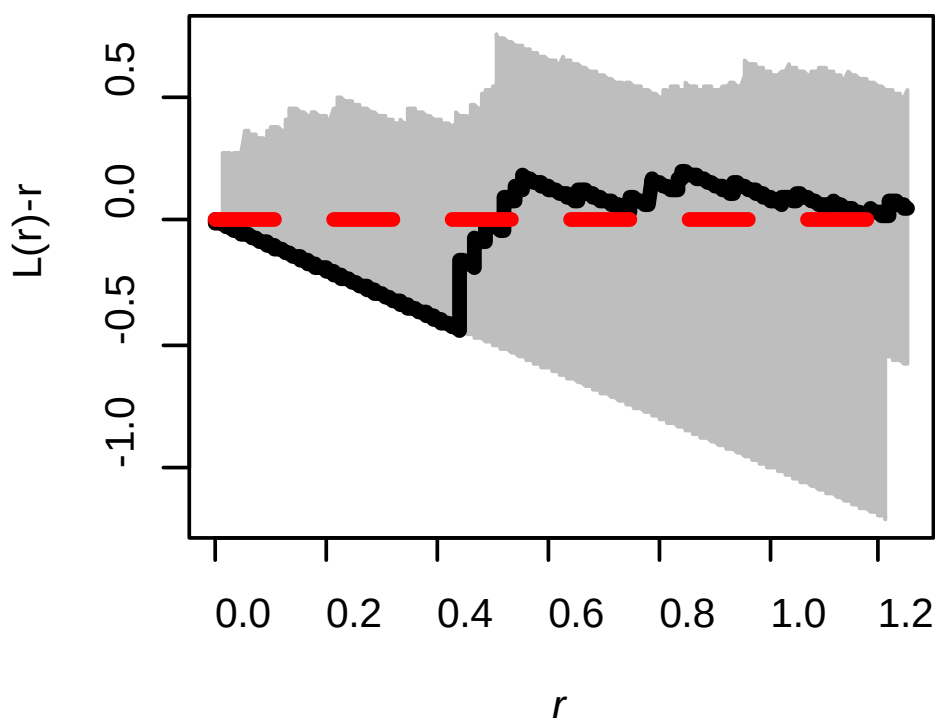


Рис. 6. Поведение функции Рипли (генеративные особи)

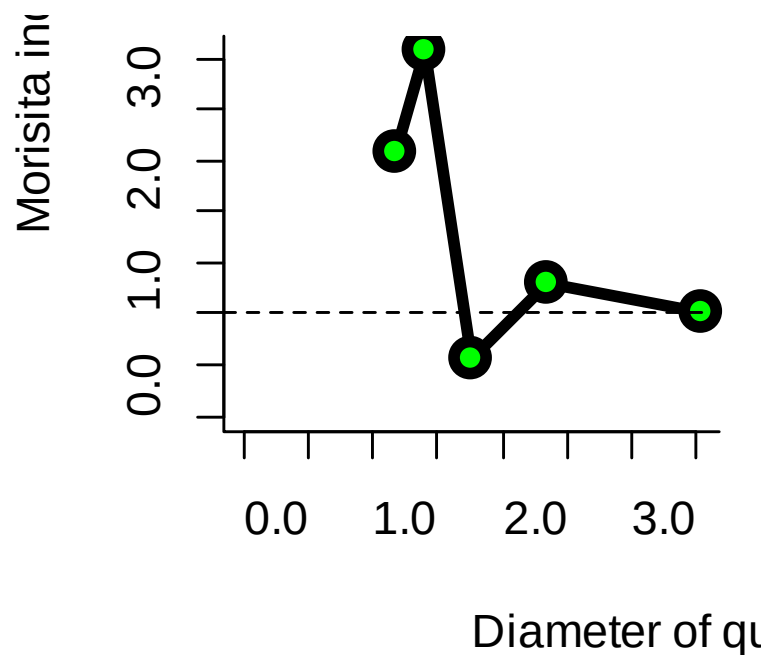


Рис. 7. Поведение индекса Мориситы (прегенеративные особи)

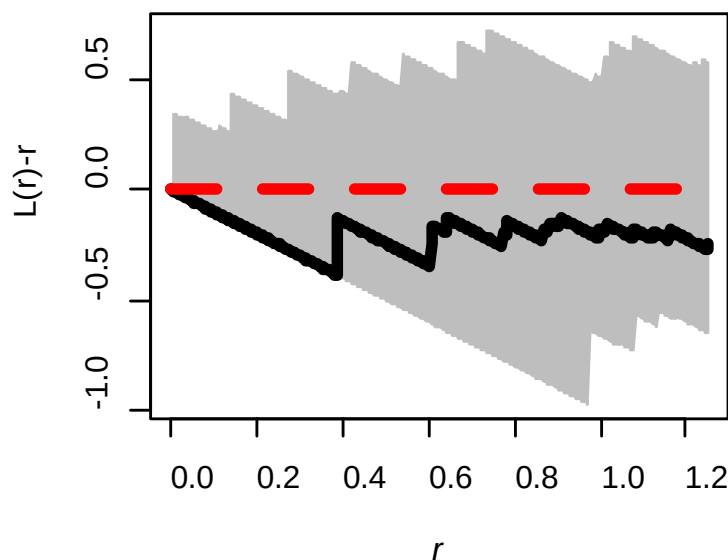


Рис. 8. Поведение кросс-функции Рипли

В исследуемом сообществе *Hedysarum grandiflorum* и *Artemisia salsoloides* являются видами содоминантами. При анализе взаимного размещения этих двух видов выявлено наличие отталкивания на расстояние 0,4 м с последующим случайным размещением особей (Зенкина, Ильина, 2017).

Следует отметить, что на численность и пространственный узор ЦП редких видов растений на территории памятника природы регионального значения «Серноводный шихан» в значительной мере влияет антропогенная нагрузка. Катастрофическим фактором, воздействующим практически ежегодно на почвенно-

растительный покров, следует назвать пирогенный фактор (рис. 9), так как пожарами ежегодно охватываются значительные участки (от 15 до 40% от площади памятника природы). Кроме того, природный комплекс испытывает рекреационную (замусоривание, вытаптывание, развитие дорожной и тропиной сети) (рис. 9, 10) и пастбищную нагрузку, что отмечалось и ранее (Митрошенкова и др., 2012).

На наш взгляд, на расположение особей редких видов в пространстве оказывает значительное воздействие антропогенная нагрузка на местообитание, что проявляется в случайном характере размещения растений *Hedysarum grandiflorum*, в том числе его генеративных

особей. В исследуемом сообществе отмечена тенденция к группированию прегенеративных особей, что обусловлено прорастанием семян вблизи материнских кустов. Для данной цено-

популяции характерна низкая численность молодых растений, в связи со слабой их выживаемостью под влиянием экзогенных факторов.



Рис. 9. Воздействие пирогенного фактора на растительный покров Серноводного шихана (в центре фотографии расположена ЦП *Hedysarum grandiflorum*, фото В.Н. Ильиной)



Рис. 10. Уничтожение ЦП редких видов при увеличении площади грунтовых дорог (фото В.Н. Ильиной)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова Л.М., Ильина В.Н., Каримова О.А., Мустафина А.Н.** Сравнительный анализ структуры популяций *Hedysarum grandiflorum* (Fabaceae) в Самарской области и Республике Башкортостан // Растительные ресурсы. 2016. Т. 52, № 2. С. 225-239.
- Зенкина Т.Е.** Исследование ценопопуляций видов-доминантов галофитных сообществ в Кумо-Манычской впадине (Республика Калмыкия): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2016. 20 с.
- Зенкина Т.Е., Ильина В.Н.** Особенности структуры ценопопуляций полыни солянковидной (*Artemisia salsoloides* Willd., Asteraceae) в Самарской области // Самарский науч. вестн. 2017. Т. 6. № 4 (21). С. 41-47.
- Зенкина Т.Е., Полякова Л.В., Сагалаев В.А.** Особенности формирования пространственной структуры ценопопуляции *Artemisia salsoloides* Willd. на территории природного парка «Донской» Волгоградской области. // Сб. науч. статей Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию национального заповедного дела и Году экологии в России / Под ред. Новиковой Л.А. Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. С. 141-143.
- Ильина В.Н.** Онтоморфогенез некоторых видов рода *Hedysarum* L. // Сб. докладов конф. XVIII Любимцевские чтения. Современные проблемы эволюции. Ульяновск, 2004. С. 158-165.
- Ильина В.Н.** Эколого-биологические особенности и структура ценопопуляций редких видов рода *Hedysarum* L. в условиях бассейна Средней Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. 19 с.
- Ильина В.Н.** Особенности пространственно-онтогенетической структуры популяций копеечника крупноцветкового // Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Балашов, 18-19 октября 2012 г.). Балашов: Николаев, 2012. С. 69-71.
- Ильина В.Н.** О биоэкологических особенностях копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae) в Самарской области // Самарский науч. вестн. 2013. № 4. С. 78-80.
- Ильина В.Н.** Структура и состояние популяций средневольтских видов рода *Hedysarum* L. (Fabaceae) // Самарский науч. вестн. 2014. №2 (7). С. 37-40.
- Ильина В.Н.** Изменения базовых онтогенетических спектров популяций некоторых редких видов растений Самарской области при антропогенной нагрузке на местообитания // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2015. Т. 24, № 3. С. 144-170.
- Красная книга Самарской области.** Том I. Редкие виды растений и грибов. (Издание 2-е, переработанное и дополненное). Под ред. Сенатора С.А., Саксонова С.В. Самара: Изд-во Самар. гос. обл. академии (Наяновой), 2017. 384 с.
- Красная книга Саратовской области.** Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов: Изд-во Торгово-пром. палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.
- Красная книга Республики Татарстан** (животные, растения, грибы). Казань: Идел-Пресс, 2016. 760 с.
- Красная книга Российской Федерации** (растения). М., 2008. 855 с.
- Красная книга Ульяновской области** / Под науч. ред. Е.А. Артемьевой, А.В. Масленникова, М.В. Корепова. М.: Буки Веди, 2015. 550 с.
- Лаврентьев М.В.** Распространение и структура популяций *Hedysarum grandiflorum* Pall. в южной части Приволжской возвышенности // Исследования молодых учёных в биологии и экологии. Сб. науч. тр. 2015. С. 67-70.
- Лаврентьев М.В., Степанов М.В.** Некоторые особенности биологии и экологии сообщества с участием *Hedysarum grandiflorum* Pall. в НП «Хвалынский» // Науч. тр. Нац. парка «Хвалынский». Вып. 1. Саратов; Хвалынский: Научная книга, 2009. С. 52-58.
- Масленников А.В., Масленникова Л.А.** О состоянии популяций редкого охраняемого вида – копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall.) и возможности его клонального микро-размножения in vitro // Природа Симбирского Поволжья. Сб. науч. тр. XIX межрегион. науч.-практ. конф. 2017. С. 55-59.
- Мастичкий С.Э., Шитиков В.К.** Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. Электронная книга, адрес доступа: <http://r-analytics.blogspot.com>. Хайдельберг – Лондон – Тольятти. 2014. 401 с.
- Митрошенкова А.Е., Ильина В.Н., Ильина Н.С., Устинова А.А., Лысенко Т.М.** Природный комплекс «Серноводский шихан»: современное состояние и охрана (Сергиевский район, Самарская область) // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященная 100-летию со дня рождения д.б.н., проф. В.Е. Тимофеева. 1-3 февраля 2012 г., Самара. Самара: ПГСГА, 2012. С. 169-174.
- Мулдашев А.А., Маслова Н.В., Елизарьева О.А., Галеева А.Х.** Характеристика возрастного состава популяций *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) в Башкирском Предуралье // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2013. № 10 (159). С. 198-201.
- Постановление Правительства Оренбургской области** от 16.04.2014 № 229-п «О внесении изменений в постановление Правительства Оренбургской области от 26 января 2012 года № 67-п».
- Савельев А.А., Мухарамова С.С., Чижикова Н.А., Пилюгин А.Г.** Теория пространственных точечных процессов в задачах экологии и природопользования (с применением пакета R) Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2014. 146 с.
- Сагалаев В.А., Зенкина Т.Е., Полякова Л.В.** Характеристика пространственной структуры ценопопуляции *Artemisia salsoloides* Willd. на территории природного парка «Нижнехоперский» Волгоградской области // Проблемы популяционной биологии: материалы XII Всерос. популяционного семинара памяти Николая Васильевича Глотова (1939-2016). Под ред. Воскресенской О.Л., Гелашвили Д.Б., Суе-

тиной Ю.Г. Йошкар-Ола: ООО ИПФ «СТРИНГ», 2017. С. 189-192.

Супрун Н.А. Структура популяций *Hedysarum grandiflorum* Pall. в Волгоградской области // Изв. Самар. НЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3(1). С. 346-351.

Супрун Н.А., Шанцер И.А. Генетическая изменчивость видов родства *Hedysarum grandiflorum* Pall. (Fabaceae) по данным ISSR маркирования // Бюл. ГБС РАН. 2012. № 4. С. 42-49.

Фардеева М.Б., Чижилова Н.А., Красильникова О.В. Многолетняя динамика онтогенетической и пространственной структуры ценопопуляций *Surripedium calceolus* L. // Ученые записки Казан. гос. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2010. Т. 152, кн. 3. С. 159-173.

Фардеева М.Б. Многолетняя динамика пространственно-временной структуры популяций *Orchis militaris* L. (Orchidaceae Juss.) // Изв. Самар. НЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3(1). С. 352-357.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ данных по биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Касандра, 2014. 314 с.

Abramova L.M., Karimova O.A., Mustafina A.N. Characteristic of coenopopulations of a rare species *Hedysarum grandiflorum* Pall. in stony steppes of the Cis-Urals // Italian Science Review. 2014. № 2(11). P. 241-244.

Baddeley A., Turner R. Spatstat: an R packadge for analysing spatial point patterns // Journal of Statistical Software. 2005. Vol. 12(6). P. 1-42.

Morisita M. Measuring the dispersion and the analysis of distribution patterns // Memoires of the Faculty of Science, Kyushu University, Series E. Biology. 1959. Vol. 2. P. 215-235.

Ripley B.D. The second-order analysis of stationary point processes // Journal of Applied Probability. 1976. № 13. P. 255-266.

Ripley B.D. Modelling spatial patterns // Journal of the Royal Statistical Society. Series B. 1977. № 39. P. 172-212.

Scott D.W. Multivariate density estimation. Theory, Practice and Visualization. New-York: John Wiley & Sons Ltd, 1992. P. 384.

Silverman B.W. Density estimation for statistics and data analysis. London: Chapman and Hall, 1986. P. 175.