

УДК 581.9

**ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АРЕАЛ
CALOPHACA WOLGARICA (L. FL.) DC В СВЯЗИ
С ВЫБОРОМ МЕСТ ДЛЯ ЕГО РЕИНТРОДУКЦИИ
В САРАТОВСКУЮ ОБЛАСТЬ**

Л. В. Куликова, Н. А. Петрова, А. С. Кашин

*Саратовский национальный исследовательский государственный
университет им. Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, Саратов, ул. Академика Навашина
E-mail: kulikovaluda064@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.10.2018 г., принята 30.10.2018 г.

В работе приводятся современные данные по распространению майкарагана волжского. Предпринята попытка моделирования биоклиматического ареала методом максимальной энтропии. Установлены климатические параметры, влияющие на расселение вида, в которых существование вида оптимально. В соответствии с полученной биоклиматической моделью на территории Саратовской области возможно произрастание майкарагана волжского. Исходя из полученных данных и данных о составе и структуре растительных сообществ с участием майкарагана в естественных местообитаниях, происходил подбор ненарушенных степных участков для реинтродукции вида в Саратовскую область. Определены территории с оптимальными условиями для реинтродукции майкарагана волжского на территории Саратовской области. Установлено, что на территории Саратовской области расселение вида лимитируют температура и сезонность выпадения осадков. Однако в пределах региона существуют подходящие места для произрастания майкарагана волжского, а соответственно и его реинтродукции.

Ключевые слова: *Calophaca wolgarica* (L. fl.) DC., майкараган волжский, потенциальный ареал, MaxEnt-моделирование, биоклиматические параметры.

DOI: 10.18500/1682-1637-2018-4-38-48

Угроза исчезновения растений видов дикой флоры и их местообитаний стремительно возрастает по всему миру. При этом очевидно, что сохранение растительных сообществ и отдельных видов *in situ* является предпочтительным по отношению к сохранению их *ex situ*.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ АРЕАЛ *CALOPHACA WOLGARICA*

Однако масштабы разрушения биоценозов во многих регионах часто не оставляют возможностей для сохранения растений в естественных условиях. В связи с этим реинтродукцию отдельных видов на сохранившиеся природные территории, а в будущем восстановление и реконструкцию целых сообществ, следует рассматривать как перспективные меры по спасению растений, находящихся под угрозой исчезновения (Горбунов и др., 2008).

В большинстве случаев при более пристальном изучении природных популяций вполне достаточным может оказаться использование именно возможностей для их сохранения *in situ* посредством защиты местообитаний (заповедование территории, ограничение выпаса и антропогенной нагрузки, устранение палов, очистка от сорняков и др.) и принятия других мер по восстановлению растительных сообществ и популяций.

Однако для популяций, характеризующихся слишком низкой численностью, или для видов с небольшим числом сохранившихся популяций подобные меры могут оказаться неэффективными и даже неприемлемыми. В таких случаях приходится обращаться к методу реинтродукции.

Реинтродукция популяций редких видов должна включать следующие основные этапы: 1) предварительные исследования – сбор подробной информации о реинтродуцируемом виде; 2) проведение полевых исследований – изучение структуры и экологии сохранившихся природных популяций; 3) размножение материала в условиях культуры; 4) выбор местообитаний для искусственных популяций; 5) создание искусственных популяций, 6) мониторинг реинтродукционных популяций (Горбунов и др., 2008).

Целью работы является выявление потенциального биоклиматического ареала майкарагана волжского, подбор местообитаний на территории Саратовской области и создание реинтродуцированных популяций.

Майкараган волжский (*Calophaca wolgarica* (L. fl.) DC.) – высокодекоративный засухоустойчивый кустарник семейства Fabaceae Lindl. Является эндемиком Юго-Восточной Европы и нуждается в полной охране (Редкие..., 1981). Цветет в мае-июне, плодоносит в июле (Мавевский, 2006). Вид занесен в Красную книгу Российской Федерации со статусом 2а – вид, сокращающийся в численности. В числе лимитирующих факторов приводится низкая семенная продуктивность вида, в частности небольшое число полностью вызревающих семян в бобах,

а также немногочисленный самосев и медленное развитие растений (Красная..., 2006, 2008; Середа и др., 2015)

Указывается для территории Ставропольского края, Республики Калмыкия, Астраханской, Волгоградской, Оренбургской, Ростовской, Самарской областей (Камелин, Федяева, 2008). Единственное указание на сборы *C. wolgarica* на территории Саратовской области датируется 1869 – 1870 гг. (Баум, 1870; Борисова, 1931). В научной литературе отсутствуют сведения о находках майкарагана волжского в более поздний период и современными сборами произрастание вида в регионе не подтверждается (SARAT, SARBG). Среди редких и исчезающих растений Саратовской области (Красная..., 2006) данный вид не указан.

Очевидно, что для создания искусственных популяций необходимо выявить благоприятные для произрастания вида территории в пределах Саратовской области. Для определения потенциальных мест создания таких популяций вида был выбран метод моделирования ареала на основании климатических особенностей произрастания этого вида.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящее время наиболее эффективным признано моделирование ареалов с помощью метода максимальной энтропии, предложенное S. J. Phillips (Phillips et al., 2006; Anderson et al., 2003) и реализуемое в программе MaxEnt. В данном методе используется информация о параметрах среды в известных местонахождениях вида и определяется вероятность его присутствия на остальной территории.

В качестве параметров среды обычно используется набор биоклиматических параметров из открытой базы WorldClim (<http://www.worldclim.org>). Считается, что моделирование распространения видов, основанное на использовании климатических показателей, может выявить территории, подходящие по своим климатическим характеристикам для произрастания особей того или иного вида (Олонова, Гудкова, 2017). При этом потенциальным ареалом называется область, где климатические условия благоприятны для произрастания особей вида (Работнов, 1983). Представляют интерес и результаты вклада различных климатических параметров в модель потенциального ареала. По этим данным можно судить о наиболее существенных экологических факторах, лимитирующих распространение вида. Кроме того, основываясь на выявлении климатических характеристик то-

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ АРЕАЛ *CALOPHACA WOLGARICA*

чек, где был отмечен изучаемый вид, можно оценить климатический профиль вида, то есть диапазон изменчивости климатических условий, к которым он адаптирован (Олонова, Гудкова, 2017).

Для моделирования потенциального ареала была использована база, содержащая координаты 35 местонахождений вида в природе. Используются собственные данные, данные сотрудников Волгоградского регионального ботанического сада и сведения, полученные из базы данных Глобальной Информационной системы по биоразнообразию GBIF (<https://www.gbif.org>). Для моделирования использованы только популяции, для которых координаты указаны с точностью до сотых долей градуса и более. В нашем распоряжении такие данные имеются только для восточной части полного ареала вида (основная часть популяций произрастает в Волгоградской области). Информацию с гербарных этикеток, можно, использовать, но только при увеличении размера ячеек, содержащих биоклиматические параметры и увеличении масштаба. Мы в своём исследовании не стали прибегать к этому.

В качестве источника информации о параметрах среды была использована открытая база данных Worldclim (<http://www.worldclim.org>). Выбран набор из 19 биоклиматических (Bioclim) коэффициентов и дневные по среднемесячным максимальным, минимальным и средним температурам, а также осадкам (таблица), рассчитанным по данным метеостанций за 1950 – 2000 гг. Данные представлены в ячейках размером 5×5 км (2×2 min).

Моделирование потенциального ареала выполнено в программе MaxEnt. Статистический анализ точности полученной модели проверялся случайной выборкой 25 % тестовых местонахождений видов (Random test percentage) из той же базы данных. В качестве порогового значения использован 5 % процентиля. Значения ниже этого процентиля считаются не удовлетворяющими экологическим требованиям вида. Пять процентов находок оцениваются как существующие в малопригодных условиях. Оценка вклада каждой переменной производилась в MaxEnt двумя независимыми способами: прямой оценкой вклада в процентном отношении и оценкой после пермутации. Окончательная обработка результатов выполнена с помощью программы DIVA-GIS 7.5.0 (<http://www.diva-gis.org/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате моделирования была получена карта, на которой с помощью градаций цвета обозначается вероятность нахождения вида в конкретной точке (рисунок). Точность модели подтверждает высокий показатель AUC (тренировочных данных) = 0.999, для тестовых данных AUC = 0.999.

Модель демонстрирует, что в современных климатических условиях, исходя из имеющегося набора данных (координат), майкараган волжский может встречаться заметно шире на территории Волгоградской области. При этом он так же встречается на территории Украины. Максимальная прогнозируемая вероятность составляет 75 %, но в среднем этот показатель находится на уровне 40 – 60 %.

В соответствии с полученной биоклиматической моделью на территории Саратовской области возможно произрастание *C. wolgarica*. Подходящие для вида климатические условия имеются в центральной и восточной части Саратовского Заволжья, а также в южной части Правобережья непосредственно вдоль берега р. Волга.

Исходя из полученных данных и данных о составе и структуре растительных сообществ с участием *C. wolgarica* в естественных местообитаниях, происходил подбор ненарушенных степных участков для реинтродукции вида в Саратовскую область. Искусственные популяции отмечены на карте черным цветом. Большая часть из них попадает в благоприятные климатические условия произрастания для этого вида.

Результаты мониторинга искусственных популяций подтверждают необходимость учитывать потенциальный биоклиматический ареал при реинтродукции. Наиболее жизнеспособными оказались две искусственные популяции в Пугачевском и Фёдоровском районах Саратовской области (Куликова и др., 2018). Эти участки входят в предсказанные моделью благоприятные для произрастания вида в области.

При анализе гербарных сборов и известных мест произрастания вида выявлено, что данные о его распространении крайне фрагментарны, причём многие указания гербарные сборы повторяют друг друга.

Значительный интерес представляют результаты анализа вклада различных климатических параметров в модель потенциального ареала (Олонова, Гудкова, 2017). По этим данным удаётся выявить наиболее существенные экологические факторы, лимитирующие распространение вида.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ АРЕАЛ *CALOPHACA WOLGARICA*

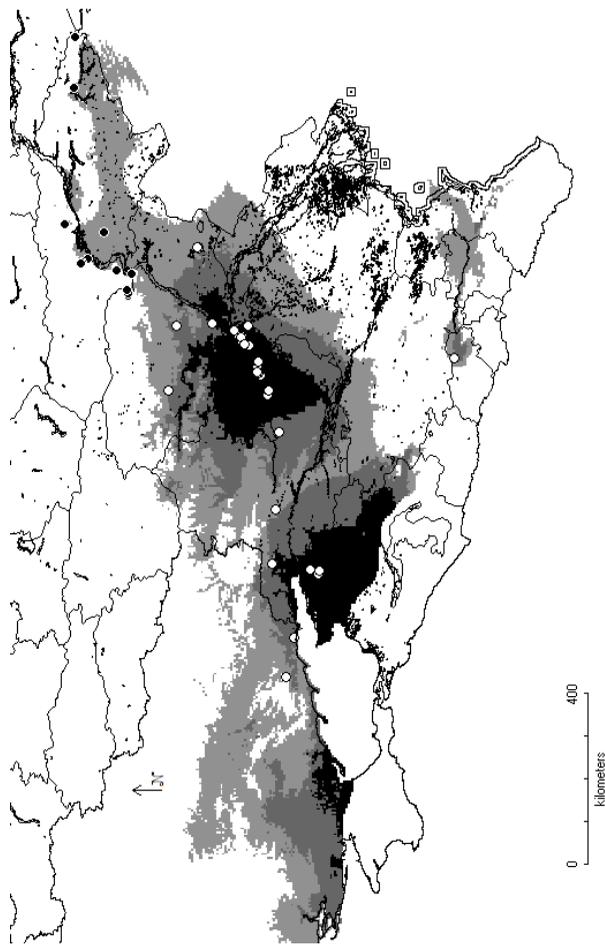


Рисунок. Модель потенциального климатического ареала *C. wolgarica*. Белыми точками отмечены известные местонахождения, использованные для построения модели. Черными точками обозначены искусственные популяции. Цветная заливка обозначает области вероятного распространения *C. wolgarica* с высокой (60 – 80 %; черный цвет), средней (40 – 60 %; серый цвет), низкой (20 – 40 %; светло-серый цвет) вероятностью встречи.

Figure. Model of potential climatic range *C. wolgarica*. White dots mark the known locations used to build the model. Black dots are marked with artificial populations. Color fill denotes areas of probable propagation *C. wolgarica* with high (60 – 80 %; Dark color), medium (40 – 60 %; gray), low (20 – 40 %; light gray) the probability of the meeting.

Таблица. Стандартные биоклиматические параметры Worldclim и их вклад в полученную модель MaxEnt

Table. Standard bioclimatic parameters of Worldclim and their contribution to the received model of the MaxEnt

Описание параметра Parameter description	Вклад, % Contribution, %	Важность при пермутации, % The importance of permutations, %
1	2	3
Макс. температура наиболее теплого месяца Maximum temperature of the warmest month	35.4	25.1
Сезонность выпадения осадков (коэфф. вариации) Seasonality of precipitation (coefficient of variation)	11.4	31.3
Средняя температура наиболее сухого квартала Average temperature of the most dry quarter	11	0.5
Среднегодовая температура Average annual temperature	8.3	1
Средняя температура наиболее теплого квартала The average temperature of the warmest quarter	7.2	8.4
Средняя температура наиболее влажного квартала The average temperature of the most humid quarter	6.8	2.1
Осадки самого сухого квартала Precipitation of the most dry quarter	5.5	0
Средняя температура самого холодного квартала The average temperature of the coldest quarter	5.2	2.6
Осадки самого холодного квартала Precipitation of the coldest quarter	4.4	1.4
Осадки самого влажного месяца Precipitation of the most humid month	2.6	5.3
Осадки самого теплого квартала Precipitation of the warmest quarter	1.4	0.2
Среднемесячная суточная амплитуда температуры Monthly average daily amplitude of temperature	0.5	13.5
Среднегодовые осадки Average annual precipitation	0.3	0.1
Осадки самого сухого месяца Precipitation of the most dry month	0.1	8.4
Сезонность температуры (коэффициент вариации) Seasonality of temperature (coefficient of variation)	0	0

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ АРЕАЛ *CALOPHACA WOLGARICA*

Продолжение таблицы
Table

1	2	3
Среднегодовая амплитуда колебания температуры (BIO5 – BIO6) Average annual amplitude of temperature fluctuations (BIO5 – BIO6)	0	0
Изотермальность (BIO1 / BIO7) x 100 Isothermalness (BIO1 / BIO7) x 100 in	0	0
Осадки самого влажного квартала Precipitation of the most humid quarter	0	0
Мин. температура наиболее холодного месяца Minimum temperature of the coldest month	0	0

Как следует из таблицы, наибольший вклад в построение модели внесли максимальная температура наиболее теплого месяца, сезонность выпадения осадков и средняя температура наиболее сухого квартала. Для данного вида это не является неожиданным, так как температура является важным фактором, от которого зависит скорость развития растений, а количество осадков оказывает влияние на годовой прирост побегов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на территории Саратовской области расселение вида лимитируют температура и сезонность выпадения осадков. Построенная нами карта подтверждает, что в пределах региона существуют подходящие места для произрастания майкарагана волжского, а соответственно и его реинтродукции.

*Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам Волгоградского регионального ботанического сада за предоставленные сведения о точных координатах мест произрастания *C. wolgarica* в пределах региона.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Anderson R. P., Lew D., Peterson A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting models // *Ecological Modelling*. 2003. Vol. 162. P. 211 – 232.

Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // *Ecological Modeling*. 2006. V. 190. P. 231–259.

Баум О. О. Отчёт о ботанических исследованиях на правом берегу Волги между Казанью и Сарептой // Протоколы заседаний общества естествоиспытателей при Императорском Казанском университете. 1869 – 1870 гг. Казань. 1870. С. 65 – 73.

Борисова А. Г. Род *Calophaca* Fisch. – Майкараган // Флора Юго-Востока европейской части СССР. Вып. 5. М.; Л.: Гос. изд-во с.-х. и колх.-коопер. лит-ры, 1931. С. 585.

Горбунов Ю. Н., Дзыбов Д. С., Кузьмин З. Е., Смирнов И. А. Методические рекомендации по реинтродукции редких и исчезающих видов растений (для ботанических садов). Тула: Гриф и К, 2008. 34 с.

Камелин Р. В., Федяева В. В. Майкараган волжский – *Calophaca wolgarica* (L. f. l.) Fisch. ex DC. // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. С. 225 – 226.

Красная книга Саратовской области: Грибы, лишайники, растения, животные. Саратов: Изд-во Торг.-пром. палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.

Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 600 с.

Олонова М. В., Гудкова П. Д. Биоклиматическое моделирование: задания для практической работы и методические указания к их выполнению. Томск: Издательский Дом Томского гос. ун-та, 2017. 50 с.

Работнов Т. А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1983. 296 с.

Редкие и исчезающие виды флоры СССР, нуждающиеся в охране / под ред. акад. А. Л. Тахтаджяна. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1981. 264 с. С. 94 – 96.

Середа М. М., Карасаева Т. А., Луценко Е. В. Микрочлониальное размножение майкарагана волжского // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология, Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 3. С. 35 – 40.

Толмачёв А. И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 244 с.

Куликова Л. В., Кашин А. С., Шилова И. В., Петрова Н. А. Первые результаты реинтродукции *Calophaca wolgarica* (L. Fl.) DC в Саратовскую область // Научные труды национального парка «Хвалынский»: сб. науч. ст. по матер. V Междунар. науч.-практ. конф. «Особо охраняемые природные территории: прошлое, настоящее, будущее». 2018. Вып. 10. С. 62 – 72.

Образец для цитирования:

Куликова Л. В., Петрова Н. А., Кашин А. С. Потенциальный биоклиматический ареал *Calophaca wolgarica* (L. Fl.) DC в связи с выбором мест для его реинтродукции в Саратовскую область // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2018. Т. 16, вып. 4. С. 38 – 48. DOI: 10.18500/1682-1637-2018-4-38-48.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ АРЕАЛ *CALOPHACA WOLGARICA*

UDC 581.9

***CALOPHACA WOLGARICA* (L. FL.) DC POTENTIAL BIOCLIMATIC AREAL IN CONNECTION WITH THE SELECTION OF SITES FOR REINTRODUCTION IN THE SARATOV REGION**

L. V. Kulikova, N. A. Petrova, A. S. Kashin

*N. G. Chernyshevsky Saratov State University
Academika Navashina Str., Saratov 410010, Russia
E-mail: kulikovaluda064@mail.ru*

Received 22 October 2018, Accepted 30 October 2018

The paper presents modern data on the distribution of the *Calophaca wolgarica*. An attempt was made to simulate a bioclimatic area method of maximum entropy. Climatic parameters influencing the settlement of species in which the existence of the species is optimal are established. In accordance with the received Bioclimatic model in the territory of the Saratov region may be produced by the *Calophaca wolgarica*. Based on the obtained data and data on the composition and structure of plant communities with the participation of *Calophaca wolgarica* in natural habitats, there was a selection of undisturbed steppe areas for the reintroduction of the species in the Saratov region. The territory with optimal conditions for the reintroduction of the *Calophaca wolgarica* in the territory of the Saratov region is defined. It was established that in the territory of the Saratov region the settlement of the species is limited by temperature and seasonality of precipitation. However, within the region there are suitable places for the growth of the *Calophaca wolgarica*, and accordingly its reintroduction.

Key words: *Calophaca wolgarica* (L. fl.) DC., potential area, MaxEnt-modeling, bioclimatic parameters.

DOI: 10.18500/1682-1637-2018-4-38-48

REFERENCES

Anderson R. P., Lew D., Peterson A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting models. *Ecological Modelling*, 2003, vol. 162, pp. 211 – 232.

Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, vol. 190, pp. 231 – 259.

Baum O. O. The report on botanical researches on the right coast of Volga between Kazan and Sarepta. In: *Protocols of meetings of society of scientists at the Imperial Kazan university. 1869 – 1870*. Kazan. 1870. pp. 65–73. (in Russian).

Borisov A. G. Genus *Calophaca* Fisch. – Maykaragan. In: *Flora of South-East of the European part of the USSR*. Vol. 5. Moscow – Leningrad: State publishing house agricultural liters, 1931. pp. 585. (in Russian).

Mayevsky P. F. Flora of a midland of the European part of Russia. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2006. 600 p. (in Russian).

Gorbunov Yu. N., Dzybov D. S., Kuzmin Z. E., Smirnov I. A. Methodical recommendations about reintroduction of rare and endangered species of plants (for botanical gardens). Tula: Grif & K., 2008. 34 p. (in Russian).

Kamelin R. V., Fedyaeva V. V. Maykaragan Volga – *Calophaca wolgarica* (L. fi l.) Fisch. ex DC. In: *Red List of the Russian Federation (plants and mushrooms)*. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2008. pp. 225 – 226. (in Russian).

Red List of the Saratov region: Mushrooms, lichens, plants, animals. Saratov: Publishing House Torg.-prom. Chamber Sarat. Region, 2006. 528 p. (in Russian).

Olonova M. V., Gudkova P. D. *Bioclimatic modeling: tasks for practical work and methodical instructions to their performance*. Tomsk: Publishing house of the Tomsk State University, 2017. 50 p. (in Russian).

Rabotnovof T. A. *Fitotsenologiya*. M.: MSU Publ., 1983. 296 p. (in Russian).

The rare and endangered species of flora of the USSR, needing protection. Leningrad: Nauka Publ., 1981. pp. 94 – 96. (in Russian).

Sereda M. M., Karasayeva T. A., Lutsenko of E. V. Micropropagation of *Calophaca wolgarica*. *Bulletin of the Udmurt university. The Biology series. Sciences about Earth*, 2015, vol. 25, iss. 3, pp. 35 – 40. (in Russian).

Tolmachev A. I. *Introduction to geography of plants*. Leningrad: Leningrad State University Publ., 1974. 244 p. (in Russian).

Kulikova L. V., Kashin A. S., Shilova I. V., Petrova N. A. First results of reintroduction of *Calophaca wolgarica* (L. FL.) DC to the Saratov region. In: *Scientific works of the national Park “Khvalynsky”: Collection of scientific articles on the materials of the V International scientific-practical conference “Specially protected natural areas: past, present, future”*. Vol. 10. Saratov – Khvalynsk: Amirit Press, 2018. pp. 62 – 72.

Cite this article as:

Kulikova L. V., Petrova N. A., Kashin A. S. *Calophaca wolgarica* (L. Fl.) DC potential bioclimatic areal in connection with the selection of sites for reintroduction in the Saratov region. *Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University*, 2018, vol. 16, iss. 4, pp. 38 – 48. (in Russian). DOI: 10.18500/1682-1637-2018-4-38-48.