

УДК 528.9:581.9 (575.1)

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-59-69>

Геоинформационный анализ пространственного распространения *Dianthus helenae* (Caryophyllaceae) в горах Памиро-Алая (Узбекистан)

К. С. Байков¹ ✉, Е. В. Байкова¹, Н. Ю. Бешко²

¹ Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,
Республика Узбекистан

e-mail: kbaikov2018@mail.ru

Аннотация. Геоинформационный анализ представляет собой новый эффективный подход в решении вопросов пространственного распространения биологических объектов, в том числе выявления закономерностей пространственного размещения локальных популяций редких и эндемичных видов растений и животных. Исследование выполнено на модельном объекте – *Dianthus helenae* Vved. Это редкий вид цветковых растений, локальный эндемик северо-западных отрогов гор Памиро-Алая (Узбекистан). Средствами геоинформационных технологий выполнено компьютерное моделирование ареала вида по алгоритму Махент (метод максимальной энтропии). Установлены значения сырого и кумулятивного прогнозов регистрации вида в каждом из ранее выявленных мест нахождения. Составлена тематическая карта распространения *D. helenae* в масштабе 1 : 1 000 000. Региональная климатическая модель сгенерирована в компьютерной программе Махент с использованием полного набора климатических и биоклиматических переменных, с максимально доступной пространственной детализацией. Новизна предложенного геоинформационного подхода заключается в разделении пространственных выделов на квартильные группы. Это позволило распределить локалитеты редкого вида по геопространственным выделам с четырьмя уровнями экологической пригодности среды обитания. Представлены примеры интерпретации результатов геоинформационного анализа применительно к вопросам охраны модельного вида. Разработанный геоинформационный подход может быть рекомендован для оценки различных участков ареалов биологических объектов, распространение которых определяются действием климатических факторов.

Ключевые слова: геоинформационный анализ, тематическая карта, пространственное распространение, климатическая модель, квартильная группа, локалитет, пространственный выдел, сырой прогноз, кумулятивный прогноз

Для цитирования:

Байков К. С., Байкова Е. В., Бешко Н. Ю. Геоинформационный анализ пространственного распространения *Dianthus helenae* (Caryophyllaceae) в горах Памиро-Алая (Узбекистан). *Вестник СГУГиТ*. 2025. Т. 30, № 6. С. 59–69. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-59-69>

Spatial Distribution Analysis of *Dianthus helenae* (Caryophyllaceae) in the Pamiro-Alay Mountains, Uzbekistan

K. S. Baikov^{1✉}, E. V. Baikova¹, N. Yu. Beshko²

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Institute of Botany, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

e-mail: kbaikov2018@mail.ru

Abstract. A new and effective approach for analyzing spatial distribution of biological objects is presented by geoinformation analysis, which identifies patterns in the placement of rare and endemic species populations. The study focused on *Dianthus helenae* Vved., a rare flowering plant endemic to the northwestern spurs of the Pamiro-Alay Mountains (Uzbekistan). Species distribution was modeled using geoinformation technologies with the Maxent algorithm (maximum entropy method). Raw and cumulative presence probabilities were determined for known localities. A thematic distribution map at 1:1,000,000 scale was produced. A regional climatic model was generated in Maxent incorporating climatic and bioclimatic variables at high spatial resolution. The innovation of the approach lies in classifying spatial units into quartile groups, allowing localities to be assigned four levels of habitat suitability. Interpretation examples relevant to conservation of the model species are included. This geoinformation approach is recommended for assessing distributions of biological objects influenced by climatic factors.

Keywords: geoinformation analysis, thematic map, spatial distribution, climatic model, quartile group, locality, spatial unit, raw prediction, cumulative prediction

For citation:

Baikov K. S., Baikova E. V., Beshko N. Yu. (2025). Spatial Distribution Analysis of *Dianthus helenae* (Caryophyllaceae) in the Pamiro-Alay Mountains, Uzbekistan. *Vestnik SSUGiТ [Vestnik SSUGT]* Vol. 30, No. 6. pp. 59–69. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2025-30-6-59-69>

Введение

Биологическое разнообразие находится в фокусе мультидисциплинарных исследований как важный индикатор устойчивого существования экосистем. Одним из эффективных инструментов, позволяющих решать задачи изучения и сохранения биологического разнообразия, является геоинформационное моделирование ареалов, влияния на них факторов окружающей среды [1]. В рамках таких исследований особое внимание уделяется наиболее чувствительному компоненту экосистем, а именно, состоянию локальных популяций редких и исчезающих видов растений и животных. К редким и исчезающим видам относится большинство локальных эндемиков, имеющих малую область распространения. Геоинформационный анализ пространственного распространения может быть

рекомендован как важный инструмент в исследовании состояния локальных популяций редких и эндемичных видов, разработки мер их охраны [2–7]. Однако часто для таких видов известно небольшое число точек регистрации, что затрудняет выполнение геоинформационного анализа их ареалов [8]. Это требует совершенствования методических подходов к анализу пространственного распространения редких видов.

Целью статьи стало проведение геоинформационного анализа пространственного распространения модельного вида – гвоздики Елены (*Dianthus helenae* Vved.), редкого вида цветковых растений из семейства гвоздичных (Caryophyllaceae), локального эндемика северо-западных отрогов гор Памиро-Алая на территории Узбекистана. Для достижения поставленной цели в рамках геоинформационного анализа были сформулированы следующие

щие задачи: 1) сбор геопространственной информации о пунктах регистрации локальных популяций растений модельного вида и координатная привязка этих локалитетов; 2) построение тематической карты распространения модельного вида точечным способом; 3) объединение точек регистрации вида в геопространственные кластеры и подчиненные им группы; 4) построение прогнозной вероятностной модели встречаемости вида методом максимальной энтропии по климатическим и биоклиматическим предикторам; 5) выделение квартильных групп локалитетов в соответствии со значениями кумулятивного прогноза; 6) составление геоинформационных описаний выделенных территориальных групп локальных популяций по значениям сырого и кумулятивного прогнозов; 7) сравнительный анализ полученных результатов с выделением локальных популяций, расположенных в пространственных выделах с высокими и низкими значениями сырого и кумулятивного прогноза; 8) установление участков ареала с относительно высокими и относительно низкими значениями показателей пригодности среды обитания.

Материалы и методы исследования

Актуальная информация по редким и исчезающим видам гор Средней Азии содержится в региональных кадастрах флоры и Красных книгах [9–12], а также в российских и международных интернет-ресурсах, содержащих точные координаты точек регистрации видов и их фотографии [13, 14].

Полные сведения о пространственном распространении *D. helenae* включают данные гербарных коллекций, хранящиеся в крупнейших гербарных коллекциях России и Узбекистана, результаты полевых исследований и гербарные сборы одного из авторов (Н. Ю. Бешко), точки регистрации вида из интернет-ресурсов, другие источники информации.

Для геоэкологической оценки области распространения *D. helenae* было применено компьютерное моделирование методом максимальной энтропии [15–17]. Установлены значения сырого и кумулятивного прогнозов

для каждого из ранее установленных мест нахождения *D. helenae*. Составлена тематическая карта распространения вида в масштабе 1 : 1 000 000 с возможностью формирования карт отдельных участков ареала в более крупном масштабе вплоть до 1 : 30 000.

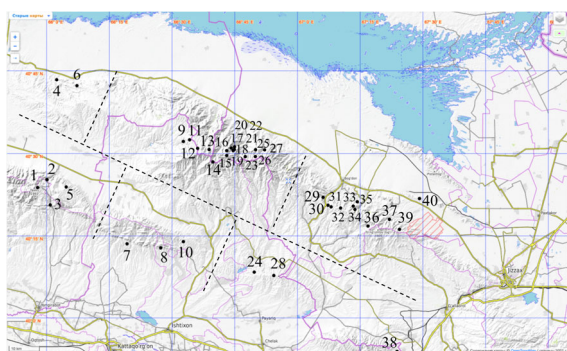
Региональная климатическая модель сгенерирована в компьютерной программе Maxent с использованием всех доступных климатических и биоклиматических показателей (предикторов), представленных на сайте WorldClim [18, 19], с максимально доступной пространственной детализацией. Базовая региональная модель сгенерирована в границах 30,0–60,0 с. ш. и 60,0–90,0 в. д. Выбрана максимальная детализация модели с пространственным разрешением 0,5 угловой минуты. Новым методическим приемом данного исследования, ранее не задействованным в других наших исследованиях, стало увеличение числа итераций алгоритма для достижения порога сходимости, устанавливаемое экспериментально. При выборе других настроек программного обеспечения и при интерпретации результатов мы следовали общепринятым рекомендациям [20, 21].

Новизна предложенного геоинформационного подхода заключена также в разделении пространственных выделов на квартильные группы. Это позволило распределить локалитеты редкого вида по геопространственным выделам с четырьмя уровнями экологической пригодности среды обитания. В качестве рабочей геоинформационной гипотезы использован принцип: сравнительно более высокое значение сырого и кумулятивного прогнозов регистрации вида в данном геопространственном выделе определяет более высокий уровень пригодности среды обитания в нем.

Полученные результаты и их обсуждение

На основе анализа геопространственной информации о пунктах регистрации локальных популяций растений модельного вида и координатной привязки локалитетов составлена детализированная карта масштаба 1 : 1 000 000 (рисунок) и построена серия климатических моделей.

При построении климатических моделей 43 местонахождений *D. helenae* были распределены в соответствии с их координатами и координатами границ между климатическими ячейками по 40 климатическим ячейкам. Далее климатические ячейки были объединены в четыре квартильные группы (таблица). С учетом близости точек регистрации друг к другу локальные популяции вида были объединены экспертно в геопространственные группы (см. рисунок).



Карта распространения *D. helenae* (черные точки). Номера соответствуют нумерации локальных популяций вида в таблице. Пунктирные линии разграничивают территориальные группы локальных популяций

Ареал *D. helenae* в значительной степени фрагментирован: основное число локальных популяций (30 из 40, или 75 %) входит в состав северного кластера, ассоциированного с Северным Нуратинским хребтом, остальные 10 популяций образуют южный кластер ареала и ассоциированы с Южным Нуратинским хребтом и горами Актау. Между собой два этих кластера разделены Нуратинской депрессией шириной 40–50 км.

Северный кластер включает три изолированные территориальные группы: северо-западную NW (две локальные популяции: #4 Гача-сай и #6 Кобляты-сай), северную центральную NC (17 локальных популяций: 9, 11–23, 25–27) и северо-восточную NE (11 локальных популяций на хр. Койташ: #29–37, #39 и обособленная локальная популяция #40, обитающая на останцовых горках к северу от Нуратау, в 60 км западнее Джизака – самое восточное местонахождение вида).

Южный кластер также включает три территориальные группы, еще более изолированные и удаленные друг от друга: юго-за-

падную SW (четыре локальные популяции: #1 в 8 км ЮЗ от киш. Чуя; #2 между Чуя и Лянгаром; #3 хр. Актау, южный склон, окр. пер. Лянгар; #5 хр. Актау, в 2–3 км на юг от киш. Кокбулак), южную центральную SC (три локальные популяции: #7 хр. Актау, в 7–8 км от киш. Маулян, #8 западная часть Нуратау, верховье Питаусая, около кишлака; #10 Шамалысай) и юго-восточную SE (две локальные популяции: #24 Каракчитау, северный склон; #28 хребет Каракчитау, в 4–5 км на юго-запад от к. Кульсафар). Локальная популяция #38 Хобдунтау, около киш. Ходжа-Кабут, находится на значительном удалении – не менее 50 км – от ближайших к ней локальных популяций #28 (хребет Каракчитау, в 4–5 км на юго-запад от киш. Кульсафар – классическое местонахождение, из которого выбран номенклатурный тип вида) и #39 (хр. Койташ: верховье Амандарасая). Регистрация локальной популяции #28 произошла в 1929 г., и с тех пор растения данного вида там не наблюдались.

Согласно сгенерированной региональной климатической модели, прогнозируемые значения вероятности наблюдения данного вида в конкретной климатической ячейке размером 0,5 × 0,5 угловых минут были отнесены к одному из четырех квартилей. Принадлежность модельной ячейки к конкретному квартилю устанавливалась в соответствии с разделяющими их пороговыми значениями кумулятивного прогноза: 25.0, 50.0, 75.0.

Локальные популяции с наиболее высокими высокими значениями сырого прогноза образуют первый квартиль Q1 (см. таблицу). В него вошли 11 локальных популяций, которые приведены далее в порядке убывания значений сырого прогноза (raw prediction, RP): #22 Хаятсай, ур. Хотунон на северо-западном склоне (RP = 0,04121), #18 Хаятсай, ур. Нови Хушк 1 220 м (RP = 0,03257) #11 верховье ур. Устуксай, 1 615 м (RP = 0,02883). Три эти локалитета характеризуются наиболее благоприятным сочетанием значений биоклиматических и климатических предикторов. Далее следуют: #9 средняя часть ур. Устуксай, 1 275 м н. у. м. (RP = 0,02335); #1 в 8 км на ЮЗ от киш. Чуя (0,02178) #21 Хаятсай, ур. Хотунон, 1 470 м н. у. м. (RP = 0,02142), #17 водораздел Хаятсая и Андыгенсая, 1 640 м н. у. м. (RP = 0,02135), #23 Нуратинский заповедник, Паррандас (RP = 0,01935), #26 хребет Нуратау, южный

склон, Накрутсай (RP = 0,01797), #19 Хаятсай, ур. Хотунон, 1 470 м н. у. м. (RP = 0,01747) и #27 Нуратинский заповедник, Болосай (RP = 0,01579).

Десять из 11 локальных популяций, включенных в первый квартиль, входят в северную центральную группу, и только одна принадлежит южному кластеру – наиболее западная в его составе (#1 Актау в 8 км юго-западнее киш.

Чуя). Большинство точек регистрации локализовано в окрестностях горного массива Хаятбаши, преимущественно на гребнях его северных отрогов (#17 водораздел Хаятсая и Андыгенсая; #19 ур. Хотунон) или в распадах – саях (верховья Хаятсая). В единственном случае вид проникает на южный макросклон Северного Нуратинского хребта (#26 Накрутсай).

Сгруппированные по квартилям результаты моделирования для 40 климатических ячеек, включающих местонахождения *Dianthus helenae*

1	2	3	4
Первый квартиль (Q1)			
66.75059 #22 NC	40.5109	0.04121198899898051	100.0
66.73974 #18 NC	40.51353	0.032570478857628114	99.99998895186353
66.57172 #11 NC	40.54277	0.02883311859735582	98.04699775321545
66.54074 #9 NC	40.53729	0.023352855412116236	94.10911914717234
65.9626 #1 SW	40.39104	0.021787893669671377	91.77386201724022
66.74557 #21 NC	40.50688	0.021426119916930338	89.59523071339315
66.7306 #17 NC	40.5232	0.02135251260557493	87.45286574915218
66.7932 #23 NC	40.4827	0.019352972875089303	79.16399971597552
66.8356 #26 NC	40.4867	0.017975758628444572	77.22871685127825
66.74328 #19 NC	40.50918	0.017475519761218417	76.94222724736058
66.8698 #27 NC	40.5151	0.015796025932806226	75.98025770562396
Второй квартиль (Q2)			
66.74342#20 NC	40.51969	0.013399703394213133	74.48841491570856
67.0997 #29 NE	40.3557	0.011742820727085067	72.68998636430729
67.2837 #36 NE	40.2847	0.011608414149609956	71.51579658922405
67.16861 #32 NE	40.33417	0.010808443999072161	71.0724419035349
67.12694 #31 NE	40.34611	0.010417056565518739	70.85552960861999
67.11486 #30 NE	40.33799	0.009045989557036895	68.79923848894282
67.36278 #37 NE	40.30056	0.008096672347836476	65.88217978314484
67.22282 #34 NE	40.33745	0.007770312504547398	65.07250754753709
67.2142 #33 NE	40.34008	0.007562131925455008	64.01542008619793
66.60011 #12 NC	40.51919	0.006909786680032999	62.398528239197525
66.82981 #25 NC	40.51201	0.006802727708710441	62.23807354365829
66.06552 #5 SW	40.3957	0.006087592505478169	60.58341523520511
66.6443 #13 NC	40.5088	0.006053055064344763	60.05918690635093
67.39913 #39 NE	40.26918	0.005980806929623074	59.85851966418334
66.9088 #28 SE	40.1284	0.005160734230855673	55.936504557111185
66.6659 #14 NC	40.47357	0.00433616554833274	52.11519929494146
Третий квартиль (Q3)			
66.72222 #16 NC	40.50722	0.003994009843089394	48.5416429036245
66.32107 #7 SC	40.2265	0.0033115050152765484	43.494237572397914
66.4333 #8 SC	40.2164	0.00280702234727538	41.50944103037606
66.5488 #10 SC	40.2327	0.002799113522545704	41.228857788608344
66.8222 #24 SE	40.1358	0.0021538764835281835	34.764961129803986
66.01424 #3 SW	40.34315	0.002149695069593956	34.744663069925934
67.3959 #38 SE	39.8851	0.0018578781168237248	33.13288150480478
66.0044 #2 SW	40.4237	0.0016726456238928412	31.916413411178436
67.23447 #35 NE	40.35569	0.0014734227441953473	30.609001879388458
Четвертый квартиль (Q4)			
66.1187 #6 NW	40.7035	7.716980394523355E-4	22.230294304738365
66.721 #15 NC	40.4966	7.472753023271972E-4	21.75164834208171
66.0462 #4 NW	40.7165	3.23916677876739E-4	16.73185767901106
67.4858 #40 NE	40.3625	2.1487399688544615E-4	13.64362483888559

Примечание. 1 – значение долготы (X) точки регистрации, с указанием порядкового номера локальной популяции и территориальной группы; 2 – значение широты (Y) точки регистрации, 3 – значение сырого прогноза, 4 – значение кумулятивного прогноза.

Вторую квартильную группу образуют локальные популяции вида, которые обитают в умеренно благоприятных условиях среды. Вероятность их нахождения в своих пространственных ячейках находится в интервале значений кумулятивного прогноза (cumulative prediction, CP) от 50.0 до 75.0 (квартиль Q2). Это самая многочисленная квартильная группа: в нее входят 16 локальных популяций. В отличие от первой квартильной группы, локальные популяции из группы Q2 не сконцентрированы на определенном участке ареала. Четыре популяции *D. helenaе* локализованы в центральной части Северного Нуратинского хребта: #12 верховье ур. Устуксай, водораздел Устуксай и Сентабсай (RP = 0,006909); #13 между Каргесаем и Сентабсаем (RP = 0,006053); #20 хребет Нуратау, Нуратинский заповедник, Хаятсай, ур. Андебараут (RP = 0,01339; #25 на пологом щебнистом восточном склоне горы Душак (RP = 0,006802). Десять локальных популяций сосредоточены в восточной части Северного Нуратинского хребта, преимущественно на хребте Койташ: #14 перевал у истоков Гуджумсай (RP = 0,004336); #29 главный водораздел в 2 км на запад от перевала Саурбель, 1 200 м н. у. м. (RP = 0,01174); #30 восточнее перевала Саурбель (RP = 0,009045); #31 гребень хребта Нуратау, около 2 км к востоку от перевала Саурбель (RP = 0,01041); #32 хребет Койташ, верховье Амандарасая (RP = 0,01080); #33 северный склон хребта Койташ, правый борт Илончисая (RP = 0,007562); #34 правый борт Османсая, выше лагеря «Зангори Олов» (RP = 0,007770); #36 горы Нуратау, в 2 км от перевала Карабай на юг (RP = 0,1160); #37 хребет Койташ, гребень между двух рукавов Устахансая (RP = 0,008096); #39 хребет Койташ, верховье Амандарасая (RP = 0,005980). Оставшиеся две локальные популяции встречаются на Южном Нуратинском хребте: по одной на юго-западном и юго-восточном участках аре-

ала: #5 хребет Актау, в 8 км на юго-запад от киш. Чуя (RP = 0,006087) и #28 Нуратинские горы, хребет Каракчитау, в 4–5 км на юго-запад от киш. Кульсафар (RP = 0,005160). Суммарно число локальных популяций в квартильных группах Q1 и Q2 равно 27, или 64 % от общего числа известных локальных популяций, что может свидетельствовать о высоком качестве построенной модели.

Третью группу образуют локальные популяции вида, которые обитают в умеренно неблагоприятных условиях среды. Вероятность их нахождения в своих пространственных ячейках находится в интервале значений кумулятивного прогноза от 25.0 до 50.0 (квартильная группа Q3, см. таблицу). В данную квартильную группу входят девять локальных популяций, при этом только две из них расположены на Северном Нуратинском хребте: #16 Нуратинский заповедник, Хаятсай, ур. Аличак, 1 850 м н. у. м. (RP = 0,003994) в составе северной центральной группы NC и #35 Джизакская область, Фаришский район, хребет Нуратау, северный склон, предгорья около киш. Хужур ССГ Османсай, 700–800 м н. у. м. (RP = 0,001473) в составе северо-восточной группы NE. Основу квартильной группы Q3 составляют семь популяций, локализованных в пределах Южного Нуратинского хребта. Три локальные популяции образуют промежуточную южную группу SI: #7 хребет Актау, 7–8 км на юго-восток от киш. Маулян (RP = 0,003311), #8 Западная часть Нуратау, верховье Питасая около кишлака (RP = 0,002807), #10 Шамалысай (RP = 0,002799). Две локальные популяции входят в состав юго-западной группы SW: #2 хребет Актау, между Чуя и Лянгаром (RP = 0,001672) и #3 хребет Актау, южный склон, окрестности пер. Лянгар, 990 м н. у. м. (RP = 0,002149). Одна локальная популяция входит в состав наиболее обособленной в составе Южного Нуратинского хребта юго-восточной группы SE: #24 хребет Каракчитау, северный склон (RP = 0,002153). К этому же квартилю относится самая южная локальная популяция #38 хребет Хобдунтау, около кишлака Ходжа-Кабут (RP = 0,001857).

Четвертую группу образуют локальные популяции вида, которые обитают в соб-

ственно неблагоприятных условиях среды. Вероятность их нахождения в своих пространственных ячейках находится в интервале значений CP от 0 до 25.0 (квартиль Q_4). Это самая малочисленная группа: в нее входят четыре локальные популяции. Две из них формируют обособленную на западе Северного Нуратинского хребта группу NW: #4 северный склон Гача-сая ($RP = 0,0003239$) и #6 Кобляты-сай ($RP = 0,0007716$). Локальная популяция #15 Нуратинский заповедник, гора Хаятбаши, перевал Хаят, 2 120 м н. у. м., находится существенно выше оптимальных для данного вида высот (например, #18 и #22 на высоте 1 250 м). В целом неблагоприятные условия среды обитания для данного вида на высоте 2 120 м н. у. м. определили низкое значение сырого прогноза ($RP = 0,0007472$). С другой стороны, нахождение вида в полосе местности, расположенной существенно ниже оптимальных высот, еще менее благоприятно для произрастания там растений данного вида. Это наглядно подтверждается крайне низким значением сырого прогноза для локальной популяции #40 останцевые горки к северу от Нуратау, в 60 км западнее Джизака ($RP = 0,0002148$). Данный локалитет расположен на высоте 580 м н. у. м. Это эмпирическое правило подтверждается низким значением сырого прогноза для местообитания локальной популяции #4 на северном склоне Гача-сая ($RP = 0,0003239$), которое находится на высоте 590 м н. у. м.

По градации, разработанной экспертами [16, 21], полученная модель по значению AUC соответствует оценке «отлично» – более 0,999.

Сравнивая полученные результаты с более ранним геоинформационным изучением пространственного распространения *D. helenae* в составе группы, включающей другие эндемичные виды, где моделирование ареала было выполнено по 19 биоклиматическим предикторам и 32 местонахождениям [22], можно констатировать их значительную комплементарность. В настоящей работе учтены 40 пространственных выделов, число предикторов увеличено с 19 до 67, полученная прогнозная климатическая модель характеризуется повышенным уровнем информативности

и детализации. Выявление дополнительной специфики, на взгляд авторов, вызвано учетом дополнительного массива климатических предикторов и такого параметра, как высота над уровнем моря.

Раздельный учет информационного вклада таких важных климатических показателей, как среднемесячное количество атмосферных осадков в феврале, марте и апреле, а также июле и сентябре, обусловил дополнительную специфику построенной модели и позволил охарактеризовать в пределах ареала *D. helenae* территориальные группы по принадлежности составляющих их локальных популяций к конкретным квартильным группам.

Заключение

В структуре ареала *D. helenae* выделены два геопространственных кластера: Северо-Нуратинский и Южно-Нуратинский. Каждый из них включает по три территориальные группы локалитетов. В результате геоинформационного анализа распространения модельного вида установлено, что Северо-Нуратинский геопространственный кластер имеет ключевое значение в поддержании генетического полиморфизма модельного вида: в нем сосредоточены 30 из 40 (75 %) локальных популяций *D. helenae*. Согласно полученным результатам, можно сделать вывод о том, что особое значение для устойчивого воспроизводства генофонда *D. helenae* имеет Северо-Нуратинский геопространственный кластер, а в его составе две территориальные группы локальных популяций: северная центральная (Хаятбашинская) и северо-восточная (Койташская). В составе Южно-Нуратинского геопространственного кластера выявлена малочисленность локальных популяций, их значительная пространственная обособленность и удаленность локальных популяций друг от друга.

Вопросы охраны ареала модельного вида до настоящего времени не разработаны. При их разработке следует учесть, что менее половины от общего числа локальных популяций *D. helenae* расположены на территории Нуратинского заповедника [23]. Особое внимание,

с учетом проведенного геоинформационного анализа, вызывают локальные популяции вида, расположенные на окраинах пространственного распространения модельного вида в климатических условиях, которые, согласно значениям сырого прогноза, были оценены как умеренно неблагоприятные (третья квартильная группа) и собственно неблагоприятные (четвертая квартильная группа). К ним относятся локальные популяции: #4 (RP = 0,0003239) на северном склоне Гача-сая (крайняя северо-западная точка ареала, см. рисунок), #38 (RP = 0,001857) хребет Хобдунтау, около киш. Ходжа-Кабут (самая южная точка ареала) и #40 (RP = 0,0002148) останцевые горки к северу от Нуратау, в 60 км западнее Джизака (крайняя северо-восточная точка ареала, см. рисунок). Согласно прогнозным данным, полученным в результате геоинформационного анализа, именно здесь необходим мониторинг состояния локальных популяций вида, в том числе оценка численности растений и, при возможности, построение возрастных спектров популяций. Выполненное исследование наглядно демонстрирует перспективы геоинформационного анализа пространственного распространения модельных видов. На основе полученных новых данных, в том числе значений сырого и кумулятивного прогнозов, могут быть подготовлены научно обоснованные рекомендации по охране наиболее уязвимых мест локализации *D. helenae*, особенно в случаях выявления заметной антропогенной нагрузки на

среду обитания данного вида в границах конкретного пространственного выдела. Предложенные ранее критерии оценки благоприятности среды обитания в ячейках раstra пространственной модели, содержащих точки регистрации вида, следует считать менее точными, чем прямой учет значений сырого прогноза [2–6]. Описанный выше подход может быть рекомендован как наиболее детальный и точный для выполнения геоинформационного анализа пространственного распространения других видов растений и иных биологических объектов, чьи ареалы определяются действием климатических факторов, в особенности при малом числе точек их регистрации.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН № АААА-А21121011290024-5 «Биологическое разнообразие криптогамных организмов и сосудистых растений Северной Азии и сопредельных территорий, их эколого-географическая характеристика и мониторинг» и государственной программы Института ботаники Академии наук Республики Узбекистан «Разработка многоуровневой классификации природных экосистем центрального Узбекистана и ведение кадастра и мониторинга редких видов растений» (2025–2029).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисовский А. А., Дудов С. В., Оболенская Е. В. Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 1. Общие подходы. Журнал общей биологии. 2020. Т. 81, № 2. С. 123–134. DOI 10.31857/S0044459620020037.
2. Baikov K., Turdiboev O., Baikova E. Predictive distribution for *Salvia aethiopsis* (Lamiaceae) in Middle Asian Region based on climatic modelling. BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 38. Art. 00007. DOI 10.1051/bioconf/20213800007.
3. Байков К. С., Кривенко Д. А., Муртазалиев Р. А., Мурашко В. В., Байкова Е. В. Пространственный мониторинг современной экологической ситуации в локалитетах *Vavilovia formosa* (Fabaceae) по данным прогнозного экологического моделирования. Сибирский экологический журнал. 2021. № 2. С. 227–2411. DOI 10.15372/SEJ20210208.
4. Байков К. С., Байкова Е. В. Экологическая оценка ареала вавиловии прекрасной (*Vavilovia formosa*, Fabaceae) в Республике Дагестан (Северный Кавказ): новые геосистемные технологии. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 5. С. 51–66. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-51-66.
5. Байков К. С., Байкова Е. В., Турдибоев О. А., Бешко Н. Ю. Экологический мониторинг ареала эндемичного вида *Salvia submutica* (Lamiaceae). Вестник СГУГиТ. 2024. – Т. 29, № 3. С. 83–96. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-83-96.

6. Байков К. С., Байкова Е. В. Экологические особенности ареала *Euphorbia pilosa* (Euphorbiaceae) на северном пределе распространения в Западной Сибири. Сибирский экологический журнал. 2025. № 1. С. 86–97. DOI 10.15372/SEJ20250106.
7. Ваганов А. В., Жолнерова Е. А., Зайков В. Ф., Шмаков А. И. Климатическое моделирование пригодности местообитаний *Erythronium sibiricum* (Fisch. et C.A. Mey.) Krylov. Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 208–214. DOI 10.25750/1995-4301-2023-3-208-214.
8. Feeley K. J., Silman M. R. Keep collecting: accurate species distribution modelling requires more collections than previously thought. *Diversity and Distributions*. 2011. Vol. 17, N 6. P. 1132–1140. DOI 10.1111/j.1472-4642.2011.00813.x.
9. Тожибаев К. Ш., Бешко Н. Ю., Кодиров У. Х., Батошов А. Р., Мирзалиева Д. У. Кадастр флоры Узбекистана: Самаркандская область. Ташкент : Фан, 2018. 220 с.
10. Красная книга Республики Узбекистан. Т. 1. Растения. Ташкент : Tasvir Publ., 2019. 356 с.
11. Закиров П. К. Ботаническая география низкогорий Кызылкума и хребта Нуратау. Ташкент : Фан, 1971. 203 с.
12. Tojibaev K. Sh., Beshko N. Yu., Popov V. A., Jang C. G., Chang K. S. Botanical Geography of Uzbekistan. Pocheon: Korea National Arboretum, 2017. 250 p.
13. Плантариум: Растения и лишайники России и сопредельных стран. URL: <https://www.plantarium.ru> (дата обращения: 06.06.2025).
14. iNaturalist: A Community for Naturalists. URL: <https://www.inaturalist.org> (дата обращения: 10.06.2025).
15. Phillips S. J., Dudik M. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 2008. Vol. 31. P. 161–175. DOI 10.1111/j.2007.0906-7590.05203.x.
16. Phillips S. J. A brief tutorial on Maxent. Network of conservation educators and practitioners, center for biodiversity and conservation, American Museum of Natural History. *Lessons in Conservation*. 2009. Vol. 3. P. 108–135. URL: https://www.amnh.org/content/download/141371/2285439/file/LinC3_SpeciesDistModeling_Ex.pdf (дата обращения: 22.05.2025).
17. Теоретические основы метода Maxent. URL: [https://wiki.gis-lab.info/w/ Теоретические_основы_метода_Maxent](https://wiki.gis-lab.info/w/Теоретические_основы_метода_Maxent) (дата обращения: 20.05.2025).
18. WorldClim. Global climate and weather data. URL: [https:// www.worldclim.org](https://www.worldclim.org) (дата обращения: 30.05.2025).
19. Fick S. E., Hijmans R. J. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37, № 12. P. 4302–4315. DOI 10.1002/joc.5086.
20. Коросов А. В. О применении алгоритмов Maxent в экологии. *Принципы экологии*. 2024. № 1. С. 80–96. DOI 10.15393/j1.art.2024.14742.
21. Лисовский А. А., Дудов С. В. Преимущества и ограничения методов экологического моделирования ареалов. 2. MaxEnt. *Журнал общей биологии*. 2020. Т. 81, № 2. С. 135–146. DOI 10.31857/S0044459620020049.
22. Volis S., Beshko N. (2023) How to preserve narrowendemics in view of climate change? The Nuratau Mountains as the case. *Plant Diversity of Central Asia*. 2023. Vol. 2 (2). P. 82–101. DOI 10.54981/PDCA/vol2iss2/a3.
23. Бешко Н. Ю. Флора высших растений Нуратинского заповедника. *Труды заповедников Узбекистана*. Вып. 7. Ташкент, 2011. С. 19–78.

REFERENCES

1. Lisovsky, A. A., Dudov, S. V., Obolenskaya E. V. (2020). Advantages and limitations of application of the species distribution modeling methods. 1. A general approach *Zhurnal Obshchei Biologii [Biology Bulletin Review]*, 81(2), 123–134. DOI 10.31857/S0044459620020037 [in Russian].

2. Baikov, K., Turdiboev, O., Baikova, E. (2021). Predictive distribution for *Salvia aethiopsis* (Lamiaceae) in Middle Asian Region based on climatic modelling *BIO Web of Conferences*, 38, 00007. DOI 10.1051/bioconf/20213800007.
3. Baikov, K. S., Krivenko, D. A., Murtazaliev, R. A., Murashko, V. V., & Baikova, E. V. (2021). Spatial monitoring of the modern environmental situation in localities of *Vavilovia formosa* (Fabaceae) based on predictive climatic modeling *Contemporary Problems of Ecology*, 14(2), 182–192. DOI 10.1134/S1995425521020025.
4. Baikov, K. S., Baikova, E. V. (2023). Ecological ranking of distribution of *Vavilovia formosa* (Fabaceae) in the Republic of Dagestan (Northern Caucasus): new geosystem technologies *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 28(5), 51–66. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-51-66 [in Russian].
5. Baikov, K. S., Baikova, E. V., Turdiboev, O. A., & Beshko, N. Yu. (2024). Ecological monitoring of the endemic species *Salvia submutica* (Lamiaceae) habitat *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29(3), 83–96. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-3-83-96 [in Russian].
6. Baikov, K. S., Baikova, E. V. (2025). Ecological features of the range of *Euphorbia pilosa* (Euphorbiaceae) at the northern limits of distribution in Western Siberia *Contemporary Problems of Ecology*, 18(1), 72–81. DOI 10.1134/S1995425524700902.
7. Vaganov, A. V., Zholnerova, E. A., Zaikov., V. F., & Shmakov, A. I. (2023). Climatic modeling of the habitat suitability of *Erythronium sibiricum* (Fisch. et C.A. Mey.) Krylov *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]*, 3, 208–214. DOI 10.25750/1995-4301-2023-3-208-214 [in Russian].
8. Feeley, K. J., Silman M. R. (2011). Keep collecting: accurate species distribution modelling requires more collections than previously thought *Diversity and Distributions*, 17, 1132–1140. DOI 10.1111/j.1472-4642.2011.00813.x.
9. Tojibaev, K. Sh., Beshko, N. Yu., Kodirov, U. H., Batoshov, A. R., & Mirzalieva, D. U. (2018). *Kadastr flory Uzbekistana: Samarkandskaya oblast [Inventory of the flora of Uzbekistan: Samarkand region]*. Tashkent: Fan Publ., 220 p. [in Russian].
10. *Red Data Book of the Republic of Uzbekistan. Vol. 1. Plants.* (2019). Tashkent: Tasvir Publ., 356 p. [in Uzbek, Russian and English].
11. Zakirov, P. K. (1971). *Botanicheskaya geografiya nizkogoriy Kyzylkuma i khrebtta Nuratau [Botanical geography of lowmountains of Kyzylkum and Nurata ridge]*. Tashkent: Fan Publ., 203 p. [in Russian].
12. Tojibaev, K. Sh., Beshko, N. Yu., Popov, V. A., Jang, C. G., & Chang K. S. (2017). *Botanical Geography of Uzbekistan*. Pocheon: Korea National Arboretum, 250 p.
13. *Plantarium: Plants and lichens of Russia and neighbouring countries*. Retrieved from <https://www.plantarium.ru> (accessed June 06, 2025).
14. *iNaturalist: A Community for Naturalists*. Retrieved from <https://www.inaturalist.org> (accessed June 10, 2025).
15. Phillips, S. J., Dudik, M. (2008). Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation *Ecography*, 31, 161–175. DOI 10.1111/j.2007.0906-7590.05203.x.
16. Phillips, S. J. (2009). A brief tutorial on Maxent. Network of conservation educators and practitioners, center for biodiversity and conservation, American Museum of Natural History *Lessons in Conservation*, 3, 108–135. URL: https://www.amnh.org/content/download/141371/2285439/file/LinC3_SpeciesDistModeling_Ex.pdf (accessed September 22, 2024).
17. Theoretical founds in Maxent method. Retrieved from https://wiki.gis-lab.info/w/Теоретические_основы_метода_Maxent (accessed May 22, 2025) [in Russian].
18. WorldClim. Global climate and weather data. Retrieved from <https://www.worldclim.org> (accessed May 30, 2025).

19. Fick, S. E., Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. DOI 10.1002/joc.5086.

20. Korosov, A. V. (2024). On application of MaxEnt algorithms in ecology *Principy ekologii [Principles of Ecology]*, 1, 80–96. DOI 10.15393/j1.art.2024.14742 [in Russian].

21. Lissovsky, A. A., Dudov, S. V. (2020). Advantages and limitations of application of the species distribution modeling methods. 2. MaxEnt *Zhurnal Obshchei Biologii [Biology Bulletin Review]*, 81(2), 135–146. DOI 10.31857/S0044459620020049 [in Russian].

22. Volis, S., Beshko, N. (2023). How to preserve narrowendemics in view of climate change? The Nuratau Mountains as the case *Plant Diversity of Central Asia*, 2(2), 82–101. DOI 10.54981/PDCA/vol2iss2/a3.

23. Beshko, N. Yu. (2011). Flora of the higher plants of the Nuratau nature reserve [Flora vysshykh rasteniy zapovednika Nuratau] *Trudy zapovednikov Uzbekistana: Vyp. 7. [Proceedings of the nature reserves of Uzbekistan: Iss. 7.]* (pp. 19–78). Tashkent: Chinor ENK [in Russian].

Об авторах

Константин Станиславович Байков – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории систематики высших сосудистых растений.

Елена Валентиновна Байкова – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник.

Наталья Юрьевна Бешко – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник.

Author details

Konstantin S. Baikov – D. Sc., Chief Researcher.

Elena V. Baikova – D. Sc., Leading Researcher.

Natalia Yu. Beshko – Ph. D., Senior Researcher.

Получено / Received 17.06.2025

Поступила после рецензирования / Revised 23.09.2025

Принята к публикации / Accepted 31.09.2025