

Пространственный мониторинг современной экологической ситуации в локалитетах *Vavilovia formosa* (Fabaceae) по данным прогнозного климатического моделирования

К. С. БАЙКОВ¹, Д. А. КРИВЕНКО², Р. А. МУРТАЗАЛИЕВ³, В. В. МУРАШКО², Е. В. БАЙКОВА¹

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101

²Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132

³Горный ботанический сад Дагестанского научного центра РАН
367000, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45
E-mail: kbaikov2018@mail.ru

Статья поступила 28.04.2020

После доработки 09.09.2020

Принята к печати 15.09.2020

АННОТАЦИЯ

Проведен пространственный мониторинг и дана оценка экологической обстановки в локальных популяциях растений реликтового эндемичного вида *Vavilovia formosa* по данным климатического моделирования ареала, выполненного методом максимальной энтропии. Растения данного вида обитают исключительно в высокогорьях на открытых незадернованных сланцевых осыпях в приледниковых зонах и распространены спорадически в горных системах Тавра, Армянского нагорья, Кавказа и Эльбурса. *V. formosa* – очень редкий вид, внесен в государственные Красные книги России, Азербайджана и Армении, а также многочисленные региональные Красные книги. Лимитирующие факторы, определяющие его редкость, ранее не были достоверно установлены, что обусловило необходимость проведения оценки экологической ситуации во всех пунктах произрастания данного вида по данным климатического моделирования. Разработана оригинальная методика для оценки экологической ситуации в локалитетах и вокруг них с выделением следующих градаций: благоприятная – неблагоприятная – амбивалентная. Предложен количественный способ такой оценки (в баллах). Как результат, установлены территории, наиболее благоприятные для сохранения локальных популяций *V. formosa*. Экологическая ситуация оценена как слабоблагоприятная для 11 локальных популяций, амбивалентная – для 36 локальных популяций, неблагоприятная – для 23 локальных популяций. Такой подход для расшифровки экологической обстановки вокруг локалитетов по данным климатического моделирования предлагается здесь к применению впервые в мировой практике. Он направлен на получение максимально точной формализованной информации о климатической ситуации в каждом локалитете и в каждой клетке гнезда, окружающего локалитет, в пределах ареала вида. Для формализации описания конкретной климатической ситуации рекомендуется использовать цветовую шкалу растров, сгенерированных в компьютерной программе MAXENT: 1 балл – для локусов, находящихся под негативным воздействием комплекса климатических факторов (синий отрезок спектра);

2 балла – под нейтральным воздействием (зеленый отрезок спектра); 3 – под позитивным воздействием комплекса климатических факторов (желто-красный отрезок спектра).

Ключевые слова: пространственный мониторинг, оценка экологической ситуации, климатическое моделирование, локалитет, предиктор, локальная популяция, *Vavilovia formosa*.

Изменения климата и их последствия являются современными вызовами, с которыми столкнулись все обитатели планеты Земля. Эти процессы уже затронули практически все экосистемы и биотопы. Наиболее уязвимыми оказались высокоспециализированные биологические объекты и сообщества, адаптация которых проходила в узком климатическом диапазоне. Растительные сообщества высокогорий, адаптированные к экстремальным условиям окружающей среды, входят в группу наиболее уязвимых экосистем вследствие короткого вегетационного периода, высокого уровня инсоляции, резких суточных перепадов температуры, малого числа видов, образующих такие сообщества. В последние годы опубликованы результаты научных исследований, которые убедительно подтверждают, что потепление климата во многих регионах приведет к значительному сокращению территорий, занятых высокогорной растительностью, а ее островной характер вызовет существенную перестройку таксономического состава высокогорных флор [Guisan, Theurillat, 2001; Walther et al., 2005; Holzinger et al., 2008; Porolo, Rossi, 2008; Erschbamer et al., 2009; Kurt et al., 2015; Terzioglu et al., 2015; и др.].

Настоящая статья посвящена изучению экологической ситуации во всех известных на данный момент локалитетах редкого рода *Vavilovia* Fed из семейства Fabaceae. Род *Vavilovia* – монотипный, включает единственный вид *V. formosa* (Steven) Fed. – вавиловия красивая. Его распространение в западном направлении достигает Западного Тавра (Турция), в восточном направлении – Эльбурса (Иран), самый южный обособленный локалитет находится в Ливане. В России проходит северная граница распространения рода – по северному макросклону Главного Кавказского хребта. Центральная часть ареала расположена на территориях Азербайджана, Армении, Турции, Ирака и Ирана и характеризуется значительной дизъюнкцией. Редкий вид *V. formosa* внесен в Красные книги России [2008] и Армении [1989, 2010, 2011],

он нуждается в охране на всем ареале. В России вид был внесен в Красную книгу Краснодарского края [1994, 2007] и региональные Красные книги большинства субъектов Северо-Кавказского федерального округа: Республики Дагестан [1998, 2009], Республики Ингушетия [2007], Кабардино-Балкарской Республики [2018], Карачаево-Черкесской Республики [2013], Республики Северная Осетия – Алания [1999] и Чеченской Республики [2007]. Характер воздействия окружающей среды на локальные популяции до настоящего времени не установлен, что определяет актуальность данного исследования.

В различных частях ареала *V. formosa* ранее установлено, что прогнозируемые изменения климата будут оказывать преимущественно негативное воздействие на состояние локальных популяций. Так, изменения климата приведут к резкому и существенному сокращению площадей и разнообразия растительных сообществ в местах обитания данного вида, что может стать причиной исчезновения вида с территории Армении уже в ближайшем будущем [Fayvush, Alexanyan, 2016]. В пределах Таврских гор, откуда известны 11 локалитетов данного вида, в результате потепления регионального климата прогнозируется сокращение площади открытых незадернованных щебнисто-каменистых склоновых участков высокогорий и постепенное перемещение растений данного вида вверх по осыпям [Parolly, 2015] в полосу контакта с приледниковыми зонами, снабжающими корни растений необходимым для их роста и развития количеством грунтовой влаги. Сходный прогноз составлен для локалитетов, размещенных в пределах горной системы Эльбурса [Norozi et al., 2011]. Многие исследователи высокогорной флоры Кавказа считают необходимым разработку эффективных мер охраны вавиловии красивой и указывают набор лимитирующих экологических факторов в пределах кавказской части ареала [Муртазалиев и др., 2012; Vishnyakova et al., 2016].

В связи с этим изучение экологической ситуации на всем пространстве дизъюнктив-

ного ареала монотипного эндемичного рода *Vavilovia* актуально и может стать модельным, поскольку позволит прогнозировать тенденции изменения состояния локальных популяций по данным вероятностных моделей, полученных методом максимальной энтропии по 30-летним (с 1970 по 2000 г.) непрерывным рядам регистрации метеоданных в различных частях ареала, а также разработать механизмы сохранения вида *in situ* и *ex situ*.

Цель исследования: провести пространственный мониторинг экологической ситуации в местах нахождения всех известных локальных популяций реликтового вида *V. formosa*, выполнить количественную оценку воздействия климатических факторов на локальные популяции, разработать методику такой оценки для территорий, находящихся в непосредственной близости к локальным популяциям, с возможностью выделения участков, характеризующихся благоприятным, неблагоприятным и амбивалентным климатическим фоном, для последующего проведения экотипификации, изучения генетического разнообразия локальных популяций, разработки мер по поддержанию уровня внутривидового разнообразия, необходимого для сохранения генофонда эндемичного монотипного рода *Vavilovia*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили гербарные сборы *V. formosa*, хранящиеся в Ботаническом институте РАН (Санкт-Петербург), Московском государственном университете, Главном ботаническом саду РАН (Москва), Дагестанском государственном университете (Махачкала), Томском государственном университете, Сибирском институте физиологии и биохимии растений СО РАН (Иркутск), Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (Новосибирск), а также в зарубежных научных и образовательных учреждениях: Institute of Botany, University of Vienna, Austria; Royal Botanical Garden, Edinburgh, UK; Naturalis Biodiversity Center, Leiden, Netherlands; National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, US; Palacky University, Czech Republic; Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, France; Botanical Museum, Finnish Muse-

um of Natural History, University of Helsinki, Finland; Institute of Botany of the National Academy of Sciences Republic of Armenia, Erevan, Armenia. Суммарный объем изученных гербарных образцов составил более 150. Также были учтены интернет-ресурсы, содержащие сведения о находках данного вида. В международной референсной таксономической базе GBIF представлено 27 локалитетов данного вида с геопривязками (дата обращения 19.09.2019). Сведения о местонахождениях, отраженные в гербарных этикетках, были верифицированы и уточнены. Многие местообитания вида на территории Восточного Кавказа, откуда известно наибольшее число локалитетов *V. formosa*, исследованы авторами лично.

Ареал вида не обладает единством территории, но состоит из нескольких частей, которые следует рассматривать как результат его фрагментации (рис. 1). Западный фрагмент ареала *V. formosa* приурочен к горным системам на юго-востоке Малой Азии и включает четыре кластера: два из них размещаются в высокогорьях Западного Тавра, другие два – в высокогорьях Центрального Тавра (около 260 км на северо-восток). Далее в ареале вида наблюдается большой разрыв: ближайшие локалитеты находятся на расстоянии 360 км к югу (Ливанские горы) и около 400 км на восток-северо-восток, на юго-западном макросклоне хр. Мунзурдаг.

Центральный и самый большой по площади фрагмент ареала вида приурочен к Армянскому нагорью, преимущественно к горным системам на его периферии. Здесь, как и в малоазиатской части ареала, растения данного вида встречаются крайне редко, дизъюнкции между отдельными локалитетами могут составить сотни километров. Местонахождение в горном массиве Паландокен расположено в 190 км на восток-северо-восток от локалитета на хр. Мунзурдаг; ближайший к нему локалитет – в 120 км на северо-северо-восток, на южной оконечности Арсианского хребта, обрамляющего Армянское нагорье с северо-запада и входящего в систему Малого Кавказа.

В северо-восточном секторе Армянского нагорья расположены три кластера и несколько обособленных локалитетов *V. formosa*. Кластер на западном макросклоне Гегамского хребта – самый представительный, что мо-



Рис. 1. Ареал *V. formosa*. Черные точки – положение всех известных локальных популяций вида

жет быть объяснено хорошей изученностью этой территории. Еще два кластера выделяются на Карабахском нагорье и Зангезурском хребте. Изолированные локалитеты находятся на горе Арагац, на северном макросклоне хр. Муровдаг и в горном массиве Мешудаг, расположенном к северо-востоку от оз. Урмия.

На юго-восточной периферии Армянского нагорья известны три местонахождения из горного массива Хакяри и Курдистанских гор, удаленные друг от друга на расстояние около 100 км. Наиболее юго-восточный из них находится в южной части Курдистанской горной цепи, на стыке Армянского и Иранского нагорий – на территории Кандильских гор.

Северный фрагмент ареала *V. formosa*, отделенный от Армянского нагорья территорией Кура-Араксинской низменности, охватывает горы Большого Кавказа в пределах северного макросклона Главного Кавказского хребта. Из этой части ареала известно наибольшее число локалитетов. Основной массив расположен в восточной части Большого Кавказа, из центральной части известно около 10 разрозненных кластеров и изолированных местонахождений; в Западном Кавказе, с дизъюнкцией около 165 км, расположен Приэльбрусский кластер.

Восточный изолированный фрагмент ареала вида находится в горах Центрального Эльбурса, откуда известны четыре локалитета.

В данном исследовании впервые предложена и применена новая методика выявления и описания влияния окружающей среды на состояние популяций вида во всех известных локалитетах и на непосредственно прилегающих к ним участках, а также дифференцированный анализ лимитирующей роли климатических и биоклиматических переменных в различных участках ареала вида, где расположены не менее двух локалитетов.

Ячейку раstra, содержащую локалитет, мы предлагаем называть *лок-клеткой* или *лок-ячейкой* (a loc-cell), а восемь ячеек раstra, расположенных вокруг лок-клетки, – *клетками гнезда* (nestle-cells), поскольку они соответствуют территории, непосредственно примыкающей к лок-клетке. Поскольку климатическая ситуация в разных клетках гнезда может различаться, мы рекомендуем делать их маркировку согласно сторонам света и указывать, начиная с северной, далее – по часовой стрелке: N – NE – E – SE – S – SW – W – NW.

Такой подход впервые в мировой практике предлагается здесь к применению для описания климатических моделей. Он направлен

на получение максимально точной формализованной информации о климатической ситуации в каждом локалитете и в каждой клетке гнезда, окружающего локалитет, в пределах полного ареала вида. Такая формализация дает возможность получить максимально точный ответ на следующие вопросы: 1) какое влияние оказывают климатические и биоклиматические переменные на популяцию вида в конкретной лок-клетке; 2) благоприятно ли суммарное влияние климата на территорию восьми ячеек, составляющих гнездо; 3) имеется ли в ближайшем окружении данной популяции резервная территория с более благоприятным комплексом климатических условий для сохранения там данного вида; 4) находится ли данная популяция вида в климатических условиях, способных привести к ее полному исчезновению; 5) где следует искать новые локалитеты.

Для формализации описания конкретной климатической ситуации предлагается использовать цветовую шкалу растров, сгенерированных в компьютерной программе MAXENT, и назначить следующие значения баллов: 1 балл – для локусов, находящихся под негативным воздействием комплекса климатических факторов (синий отрезок спектра); 2 балла – для локусов, находящихся под нейтральным воздействием комплекса климатических факторов (зеленый отрезок спектра); 3 балла – для локусов, находящихся под позитивным (благоприятным) воздействием комплекса климатических факторов (желто-красный отрезок спектра). Далее использованы следующие буквенные обозначения цветов: b – синий (blue), g – зеленый (green), y – желтый (yellow), o – оранжевый (orange), r – красный (red).

Уменьшение размера белого квадрата, обозначающего положение локалитета на растровом изображении модели, позволяет предельно конкретно раскрыть локальную климатическую ситуацию, обосновать перспективу существования популяции вида в данном локусе, определить вероятность нахождения новых популяций в соседних локусах и на удаленных территориях. Площадь одной метки локалитета в глобальной модели ($11 \times 11 = 121$) может быть уменьшена более чем в 13 раз при переходе к общей характеристике гнезд с включенным локалитетом

($3 \times 3 = 9$) и в 121 раз при переходе к дифференциальной характеристике каждой клетки гнезда и лок-клетки. В результате предлагаемый подход позволяет получить максимально точную формализованную информацию о климатической ситуации в каждом локалитете и в каждой клетке гнезда, окружающего локалитет, и оценивать дифференцированно ситуацию в разных региональных кластерах в пределах общего ареала вида.

В использованном методе анализа максимальная вероятность нахождения организмов данного вида в конкретном локусе (клетке) соответствует значению 1,00 и выделяется на растровом изображении красным цветом (рис. 2). Минимальная вероятность нахождения организмов данного вида в конкретной клетке соответствует значению 0,00 и маркируется на растровом изображении интенсивно-синим цветом. По умолчанию программа делает разбивку общего интервала варьирования вероятности на 13 частных интервалов равной ширины (0,0769) со следующим возрастающим рядом граничных значений: 0,00; 0,08; 0,15; 0,23; 0,31; 0,38; 0,46; 0,54; 0,62; 0,69; 0,77; 0,85; 0,92; 1,00. Согласно легенде, помещенной в левом нижнем углу, синий отрезок спектра охватывает четыре первых ступени, при этом четвертая ступень визуально может быть оценена как голубая. Зеленый отрезок спектра также включает четыре ступени, начиная с шестой. Между синим и зеленым отрезками спектра находится пятая ступень – зеленовато-голубая (bg), которая может быть отнесена и к синему, и к зеленому отрезку, в зависимости от экспертного мнения исследователя. Зеленый отрезок спектра визуально самый однородный, особенно ступени с шестой по восьмую. Желто-красный отрезок спектра включает ступени с 11 по 14, они хорошо различимы по оттенку цвета, кроме оранжево-красной и собственно красной. Между зеленым и желто-красным отрезками спектра расположена десятая ступень – зеленовато-желтая (лайм), которая может быть отнесена и к зеленому, и к желто-красному отрезку, в зависимости от экспертного мнения исследователя.

Ниже приведен вариант разделения шкалы вероятностей на три смежных непересекающихся интервала, примененный в данном исследовании. Первый интервал значений

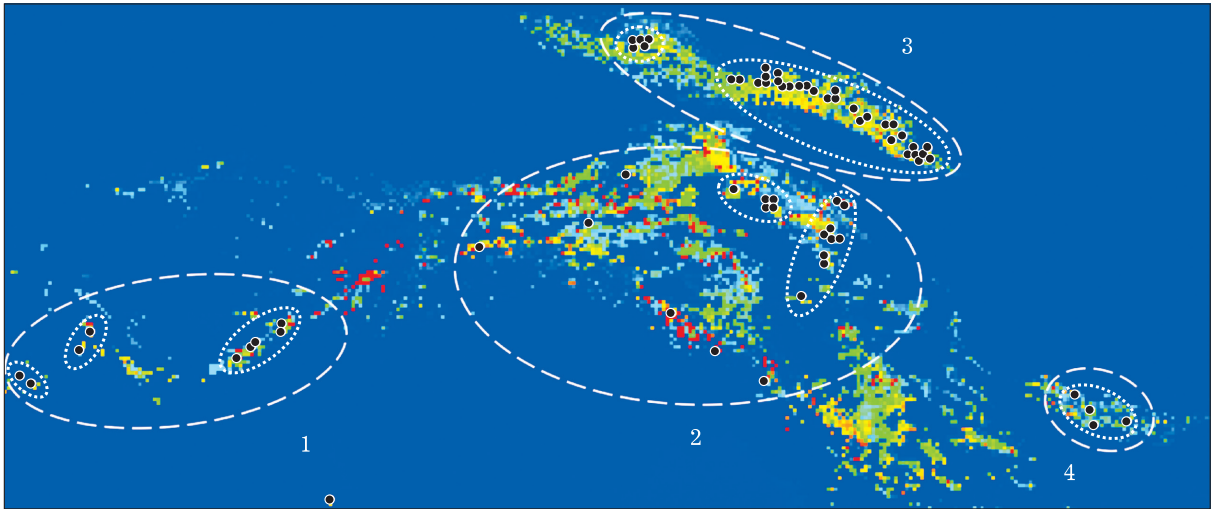


Рис. 2. Вероятностная модель ареала *V. formosa*. Штриховой линией обведены обособленные территориальные выделы, построенные на основе экспертной оценки расстояний между локалитетами (описание в тексте). Цифрами обозначены: 1 – Анатолийско-Ливанский территориальный выдел, 2 – Армянский, 3 – Кавказский, 4 – Эльбрусский. Пунктирной линией обведены кластеры – более компактные группы локальных популяций

от 0,00 до 0,37 соответствует низкой вероятности нахождения особей данного вида в клетках синей гаммы, что обусловлено негативным влиянием климатических и биоклиматических переменных. Второй интервал значений от 0,38 до 0,76 соответствует средней вероятности нахождения особей данного вида в клетках зеленой гаммы, что объяснялось нейтральным влиянием климатических и биоклиматических переменных. Один из авторов метода максимальной энтропии считает, что такие условия – типичные для известных локалитетов вида [Phillips, 2009]. Третий интервал значений от 0,77 до 1,00 соответствует в разной степени высокой вероятности нахождения особей данного вида в клетках желто-красной гаммы и рассматривается как позитивное влияние климатических и биоклиматических переменных. Именно такие условия оцениваются как наиболее благоприятные для данного вида.

Для более наглядного способа оценки количественных данных, отражающих эти три качественные ступени воздействия климатических факторов на популяцию вида в конкретном локалитете, предлагается следующая балльная оценка: 1 балл – для клеток, испытывающих негативное воздействие, они окрашены в цвета синей гаммы, включая зеленовато-синий; 2 балла – для клеток, испытывающих нейтральное воздействие, они

окрашены в цвета зеленой гаммы, включая желтовато-зеленый; 3 балла – для клеток, испытывающих позитивное воздействие, они окрашены в цвета желто-красной гаммы. Как будет показано далее, для дифференцированной оценки благоприятности климатической обстановки в клетках, окрашенных в желто-красную гамму, можно рекомендовать введение дополнительных баллов: 4 балла – для клеток, окрашенных в оранжевый цвет, 5 баллов – для клеток, окрашенных в красный цвет. Можно рассчитать следующие интервалы суммарных значений, отражающие в количественной форме общий уровень воздействия климатических условий на восемь клеток гнезда: 8–11 – негативный; 12–13 – переходный от негативного к нейтральному; 14–15 – почти нейтральный; 16 – нейтральный; 17–18 – переходный от нейтрального к позитивному; 19–21 – умеренно позитивный; 22–24 – позитивный. В случае принятия более высоких значений индекса для клеток оранжевого и красного цветов максимальное значение последнего интервала увеличится до 40 баллов (для случая, когда все клетки гнезда будут окрашены в красный цвет).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Информационной основой для выполненного описания стала прогнозная вероятностная

модель ареала вида, сгенерированная по методу максимальной энтропии в компьютерной программе MAXENT. Модель рассчитана по полному набору климатических и биоклиматических переменных в максимально детализированной форме (30 с, или 0,5 минуты, или 0,008 градуса – соответствует приблизительно 1 кв. км площади земной поверхности). Получаемое растровое изображение, согласно нашим расчетам, имеет другой размер квадратного пикселя – с длиной каждой грани около 8 км.

Ниже приведена количественная оценка воздействия климатических переменных, раздельно для лок-клеток и окружающих их гнезд. Одной лок-клетке соответствует одно гнездо, состоящее из восьми клеток, примыкающих к этой лок-клетке и полностью окружающих ее со всех сторон. Такой способ позволяет дать максимально полный, информативный и научно обоснованный прогноз перспектив существования конкретной популяции как в месте ее современного размещения, так и на прилегающих территориях, с учетом воздействия климатических факторов.

В результате проведенного анализа всех климатических и биоклиматических данных, доступных для всей поверхности Земли в международной базе данных мирового климата WorldClim, получена прогнозная модель современного распространения *V. formosa*. Эта модель отражает вероятность нахождения растений данного вида в каждой точке поверхности Земли. Модель сгенерирована по 109 локалитетам, что втрое превышает их число в ранее выполненном исследовании [Smukal et al., 2017]. Для сравнительно-аналитических задач локалитеты сгруппированы в четыре территориальных выдела (таблица). Поскольку *V. formosa* в естественных условиях обитает исключительно в высокогорьях, то полученные группы соответствуют отдельным горным хребтам или горным системам. Нами экспертно сформированы следующие территориальные выделы: 1) Анатолийско-Ливанский (горы Западного и Центрального Тавра, а также обособленный локалитет в Ливанских горах), 2) Армянский (20 локалитетов, из них шесть расположены обособленно), 3) Кавказский (36, пять локалитетов из Приэльбрусья образуют обособленный кластер) и 4) Эльбурсский (4 ло-

калитета). Состав территориальных выделов и границы между ними установлены по расстояниям между локалитетами.

Описание полученной климатической модели. Количественная оценка воздействия климатических переменных на локалитеты вида и окружающие их гнезда представлены в таблице. Далее в качестве примера рассмотрены описание и оценка климатической ситуации, в соответствии с разработанной нами методикой, в локалитетах одного из территориальных выделов – Анатолийско-Ливанского (Anatolian-Lebanon District).

Все четыре локалитета *V. formosa* в Западном Тавре находятся в условиях негативного воздействия климатических переменных, что подтверждается синим цветом их лок-клеток в полученной модели (см. рис. 2). Суммарные значения индексов благоприятности климатической обстановки в клетках гнезд варьируют в диапазоне от 9 до 11. Ниже приведены описания конкретной климатической ситуации вокруг локалитетов вида в Западном Тавре в порядке снижения суммарных значений индекса благоприятности климатической обстановки в клетках гнезда: Dedegol (11 баллов: только южная клетка гнезда находится в благоприятных климатических условиях, она желтого цвета, северная клетка гнезда характеризуется нейтральной климатической обстановкой – зеленый цвет, остальные шесть клеток находятся в неблагоприятных климатических условиях, они синего цвета), Beydaglari (10 баллов: только юго-восточная клетка гнезда находится в благоприятных климатических условиях – она желтого цвета, остальные семь – в неблагоприятных климатических условиях, они синего цвета), Vozburun (10 баллов: только северо-восточная клетка гнезда находится в благоприятных климатических условиях, она желтого цвета, остальные семь клеток гнезда находятся в неблагоприятных климатических условиях, они синего цвета) и Elmalidagi (9 баллов: единственная клетка гнезда, расположенная севернее лок-ячейки, характеризуется нейтральной климатической обстановкой, она зеленого цвета, остальные семь клеток гнезда находятся в неблагоприятных климатических условиях, они синего цвета).

Один из пяти локалитетов Центрального Тавра расположен в относительно благоприят-

Количественная оценка воздействия климатических переменных на локалитеты вида и окружающие их гнезда

1	2	3	4	5	6	7	
1. Anatolian-Lebanon District (1/2/7): Western Taurus Mountains Cluster (1-4)	1. Beydaglari (Kizlarsivrisi)	B	bbbybbbb	2	10	12	
	2. Elmalidagi	B	gbbbbbbb	2	9	11	
	3. Bozburun (Ballibucak)	B	bybbbbbb	2	10	12	
	4. Dedegol	B	gbbbybbb	2	11	13	
	Central Taurus Mountains Cluster (5-9)	5. Medetsiz-SW	Y	bbbbggbb	6	10	16
		6. Medetsiz-NE	B	bbbgbybb	2	11	13
		7. Bolghardagh	G	ggrgggyb	4	17(19)	21
		8. Demirkazik	B	bggggbbb	2	12	14
	Mount Lebanon	9. Kaldi	G	gggbbbbbb	2	11	15
		10. Qurnat	B	bbbbybbb	2	10	12
2. Armenian Highlands District (5/8/7)	11. Munzurdag	G	ggobgggb	4	15 (16)	19	
	12. Palandoken	B	bbbggbbb	2	10	12	
	13. Arsiani	B	bbbbbbbbb	2	8	10	
	14. Aragats	G	rbggyggb	4	16 (18)	20	
	15. Geghama-NE	Y	rbbyyygb	6	17 (19)	23	
	16. Geghama-SE	Y	ybygyygy	6	19	25	
	17. Geghama-SW	Y	gyygybbb	6	16	22	
	18. Geghama-NW	G	bryyybbb	4	16 (18)	20	
	19. Kapaz	B	bbrybbbb	2	12 (14)	14	
	20. Gamisdagi	Y	rbbybbbb	6	12 (14)	18	
	21. Ughtasar-NE	G	yyoggggg	4	19 (20)	23	
	22. Ughtasar-SW	G	gggbbbbb	4	14 (15)	18	
	23. Ishkhanasar	B	gbybbbbg	2	12	14	
	24. Sevlich	Y	bbbbbbog	6	11 (12)	17	
	25. Kaputzhukh (Kaputjugh)	G	gogggbbb	4	14 (15)	18	
	26. Parakan	G	ggggbbbbb	4	12	16	
	27. Mishoodaghi	B	bbbgbybbb	2	12	14	
	28. Catak	B	byorrrbr	2	20 (29)	22	
	29. Hakkari	G	rbrbbbbb	4	12 (16)	16	
	30. Qandil	B	brgbbbbb	2	11 (13)	13	
	3. Caucasus Mountains District (5/25/6): Central Caucasus Mountains Cluster (31-35)	31. Ekibekaras	B	bgggbggb	2	13	15
		32. Elbashi	B	bggbgbbb	2	11	13
		33. Bgazyrty	G	bgbggbbb	4	11	15
		34. Sadyrlyar	Y	gggbbbgb	6	12	18
		35. Elbrus	G	bbgggygg	4	15	19
		36. Zakkakhokh	B	gbggggbb	5	13	15
		37. Syrkhibarzond	G	bgbgggbg	4	13	17

1	2	3	4	5	6	7	
Eastern Caucasus Mountains Cluster (36–66)	38. Kistinka	B	gggggggb	2	15	17	
	39. Sadzhikhvisgele	G	ggbgggbg	4	14	18	
	40. Yukurulomduk	G	gggbggbg	4	13	17	
	41. Arzi	G	bbggggbb	4	12	16	
	42. Karaty	G	gggygggb	4	16	20	
	43. Kamgismagali	G	ggyggggg	4	17	21	
	44. Ardotistavi	G	yggggggg	4	17	21	
	45. Tebulosmta	G	gggggggg	4	16	20	
	46. Khazenty	B	ybgbggyb	2	15	17	
	47. Komito	G	bbygbgby	4	14	18	
	48. Diklosmta	G	bbgggggy	4	15	19	
	49. Hvarshi	G	bbgggggo	4	15 (16)	19	
	50. Addala-Shukgelmezh-N	G	bgggggbb	4	13	17	
	51. Addala-Shukgelmezh-S	G	gggggggb	4	15	19	
	52. Nukatl	G	gbggoggg	4	6 (17)	20	
	53. Guton	Y	gggggyyg	6	17	23	
	54. Taklik	B	gggggyyg	2	17	19	
	55. Alakhundag	G	gggggyyg	4	17	21	
	56. Kuraydag	G	gbgggggg	4	15	19	
	57. Yalak	Y	bbbbgbyg	6	12	18	
	58. Deavgay	Y	bbbyygb	6	14	20	
	59. Mullarchay	G	ggyggbgb	4	15	19	
	60. Ragdanchay	Y	gbgggggg	6	15	21	
	61. Chekhychay	G	bbbygggb	4	13	17	
	62. Bazardyuzu	G	bggggggy	4	16	20	
	63. Yatukhdere	G	gggbgggb	4	14	18	
	64. Shahdag	G	bbgggggb	4	13	17	
	65. Tufandag	G	gggbgogg	4	15	19	
	66. Khynalyg	G	ggbbgggb	4	13	17	
	4. Elburz Mountains District (0/1/3)	67. Alamkuh	B	bbbbbbbo	2	10	12
		68. Varangehrud	G	bbgggggb	4	13	17
		69. Tochal	B	ggbbbbgg	2	12	14
		70. Demavend	B	bgbbgggb	2	11	13

П р и м е ч а н и е. 1 – порядковый номер, название территориальной группы (в скобках приведено число благоприятных, амбивалентных и неблагоприятных локалитетов в группе) и входящие в ее состав кластеры; 2 – порядковый номер и название локалитета (полужирным шрифтом выделены наиболее благоприятные); 3 – кодировка климатической обстановки в локалитете; 4 – кодировка климатической обстановки в гнезде (объяснение в тексте); 5 – балльная оценка климатических условий лок-клетки, умноженная на повышающий коэффициент 2, введенный для отражения особого значения этого показателя по сравнению с климатическими условиями в клетках гнезда; 6 – балльная оценка климатических условий в клетках гнезда (приведена начиная с северной, далее по часовой стрелке: N-NE-E-SE-S-SW-W-NW); 7 – суммарная балльная оценка климатических условий локалитета и гнезда.

ятных климатических условиях (лок-клетка Medetsiz-SW окрашена в желтый цвет), два локалитета – в нейтральных (лок-клетки Bolghardagh и Kaldi окрашены в зеленый цвет), оставшиеся два локалитета – в условиях негативного воздействия комплекса климатических и биоклиматических переменных (лок-клетки Demirkazik и Medetsiz-NE окрашены в синий цвет). Ниже приведены описания конкретной климатической ситуации вокруг локалитетов вида в Центральном Тавре в порядке снижения суммарных значений индекса благоприятности климатической обстановки в клетках гнезда: Bolghardagh (17 баллов при стандартной оценке, 19 баллов в случае дифференциальной оценки клеток с благоприятной климатической обстановкой: восточная клетка гнезда характеризуется высокоблагоприятными экологическими условиями, окрашена в красный цвет, западная клетка гнезда имеет слабоблагоприятную обстановку, пять клеток гнезда находятся в нейтральных условиях и только одна клетка – на северо-западе от локалитета – неблагоприятна для обитания данного вида), Demirkazik (12 баллов), Medetsiz-NE, Kaldi (11 баллов), Medetsiz-SW (10 баллов).

Суммарные значения индексов благоприятности климатической обстановки в клетках гнезд варьируют в диапазоне от 10 до 17 (19 баллов в случае дифференцированной оценки клеток, имеющих желто-оранжево-красную окраску). При этом четыре локалитета характеризуются неблагоприятной экологической обстановкой на прилегающих территориях (значения варьируют от 10 до 12) и только обстановка вокруг локалитета Bolghardagh заметно лучше – 17 баллов (19 при дифференцированной оценке), что резко отличает данный локалитет от остальных локалитетов Анатолийского территориального выдела. Именно здесь, в восточной ячейке гнезда, примыкающей к лок-ячейке Bolghardagh, экологическая ситуация характеризуется наиболее благоприятным сочетанием климатических факторов.

В Ливанских горах выявлена единственная популяция *V. formosa* (локалитет Qurnat), самая южная в ареале вида, изолированная и удаленная на значительное расстояние от других местонахождений вида. Данный локалитет находится под негативным воз-

действием климатических переменных. Семь из восьми клеток гнезда также подвержены негативным воздействиям климатических переменных, кроме южной клетки, где это воздействие позитивное. Суммарная оценка перспективы воспроизводства данной популяции очень низкая, 12 баллов.

ОБСУЖДЕНИЕ

1. Особенности распространения вида позволяют охарактеризовать его ареал как преимущественно западно-азиатский дизъюнктивный. Он состоит из нескольких территориальных выделов, в пределах которых могут быть выделены кластеры и одиночные обособленные локалитеты, удаленные от кластеров. Можно предположить, что степень фрагментации территориального выдела связана с историческим возрастом так, что более фрагментированный территориальный выдел формировался более длительное время. С учетом этого наиболее фрагментированный Армянский территориальный выдел, включающий два кластера и шесть обособленных локалитетов, следует принять исторически исходным, соответствующим территории первичного расселения вида. Близким к нему по возрасту, но более молодым, следует считать Анатолийско-Ливанский территориальный выдел. Эльбурсский территориальный выдел мог выделиться из состава армянского выдела как его восточный, наиболее обособленный фрагмент. Этот выдел самый мелкий, он имеет компактные размеры и включает только четыре локалитета. В случае укрупнения хорионов Эльбурсский территориальный выдел должен быть включен в Армянский выдел. Кавказский территориальный выдел наиболее молодой, в него входит самый многочисленный кластер – восточно-кавказский (30 локалитетов), среднее расстояние между локалитетами в котором заметно меньше, чем таковое между локалитетами в кластерах остальных территориальных выделов. В составе Кавказского территориального выдела имеется дизъюнкция, отделяющая приэльбрусский кластер от восточно-кавказского кластера (см. рис. 2).

2. Анатолийско-Ливанский территориальный выдел включает локалитеты, расположенные в Западном и Центральном Тавре, а также обособленный локалитет в Ливанских

горах. Климатическая обстановка в локалитетах, известных из Западного Тавра, неблагоприятна для существования здесь растений данного вида. Она преимущественно неблагоприятна и на прилегающих к локалитетам территориях, поскольку большинство клеток гнезд находится под негативным воздействием комплекса климатических переменных (см. таблицу). Лишь единичные клетки гнезд, окружающих данные лок-клетки, характеризуются нейтральной (зеленый цвет) или благоприятной (желтый цвет) климатической обстановкой. Нейтральные условия характерны для северных клеток гнезд вокруг локалитетов Dedegol и Elmalidagi. Благоприятные климатические условия реализуются в юго-восточной клетке гнезда – вокруг локалитета Beydaglari, северо-восточной клетке гнезда – вокруг локалитета Vozburun, и южной клетке гнезда – вокруг локалитета Dedegol, наиболее благоприятные в гнездах локалитетов *V. formosa* в Западном Тавре, со значением вероятности нахождения в них растений данного вида в интервале 0,77–0,85. Сочетание значений климатических переменных в ячейках гнезд, окружающих локалитеты в Центральном Тавре, в среднем на одну-две ступени выше, чем в Западном Тавре, т. е. несколько менее негативное (см. таблицу). Исключение составляет гнездо локалитета Bolghardagh, имеющее заметно более высокое, выше нейтрального, суммарное значение индекса (21 балл), которое может быть оценено еще выше – как умеренно благоприятное, если добавить два балла за красный цвет клетки гнезда, расположенной восточнее лок-клетки (23 балла). Следовательно, центрально-таврский кластер локалитетов представляет собой относительно более благополучную по климатической обстановке часть ареала *V. formosa* по сравнению с западно-таврским кластером локалитетов, наиболее благоприятную для нахождения вида западнее локалитета Bolghardagh (здесь выявлено очень высокое значение вероятности нахождения вида – в интервале 0,92–1,00; соответствующая клетка гнезда имеет красную окраску), а также и восточнее локалитета Bolghardagh (желтый цвет клетки, что соответствует вероятности нахождения данного вида в интервале значений 0,77–0,85). Крайне неблагоприятная экологическая обстановка

характерна для локалитета Elmalidagi и его окрестностей (суммарное значение 11 баллов).

3. Двадцать локалитетов Армянского нагорья и его горного обрамления представляют собой географически центральную часть ареала *V. formosa*, связанную на западе с Тавром, на севере с Кавказом, на востоке с горами Эльбурса, на юге с Иранским нагорьем. Исторически, видимо, именно здесь мог располагаться центр происхождения вида, из которого происходило его расселение на Кавказ (по западной дуге), в Тавр и Эльбурс. Согласно полученной модели, пять локалитетов находятся в условиях положительного влияния климатических факторов: Geghama-NE, Geghama-SE, Geghama-SW, Gamisdagi и Selvich – по 6 баллов каждый. Восемь локалитетов находятся в условиях нейтрального воздействия климатических факторов (4 балла): Aragats, Geghama-NW, Ughtasar-NE, Ughtasar-SW, Kaputzhukh, Munzurdag, Parakan и Hakkari. Оставшиеся семь локалитетов находятся в условиях неблагоприятного влияния климатических факторов (2 балла): Arsiani, Catak, Ishkhanasar, Kapaz, Mishoodaghi, Palandoken и Qandil. Экологическая ситуация в клетках гнезд суммарно наиболее благоприятная вокруг локалитета Catak – 20 (29) баллов.

Оценка экологической обстановки в клетках гнезд, окружающих локалитеты Армянского территориального выдела, показала, что только в четырех гнездах суммарная обстановка может считаться благоприятной для произрастания данного вида: Catak – 20 (29) баллов, Geghama-SE – 19 баллов, Ukhtasar-NE – 19 (20) баллов и Geghama-NE – 17 (19) баллов. Еще три гнезда расположены в нейтральных или почти нейтральных экологических условиях: Aragats – 16 (18) баллов, Geghama-NW – 16 (18) баллов, Geghama-SW – 16 баллов. Остальные 14 локалитетов находятся под негативным воздействием комплекса климатических факторов, наиболее неблагоприятных вокруг локалитетов Arsiani (8 баллов; минимальное значение в изученной выборке для всего ареала вида) и Palandoken (10 баллов).

Суммирование показателей лок-клеток и окружающих их гнезд позволило установить популяции вида, находящиеся в наиболее благоприятных условиях современного кли-

мата: Geghama-SE – 25 баллов и Geghama-NE – 23 (25) балла. При таком суммировании следует обращать внимание на значение показателя именно в лок-ячейке, поскольку клетки гнезда соответствуют ближайшей территории, но вид там не регистрировался. Согласно полученным значениям, в тройке локалитетов, лидирующих по суммарному значению показателя благоприятности климатических переменных, в пределах Армянского нагорья выявлены высококонтрастные различия климатической ситуации в лок-клетках: Geghama-SE (благоприятная), Ukhtasar-NE (нейтральная), Catak (неблагоприятная). Следовательно, значение суммарного показателя может быть интерпретировано неверно, если не выделена как наиболее важная составляющая – ситуация в лок-клетке. Так, по значению суммарного показателя локалитеты с гнездами Ukhtasar-NE и Catak не различаются, однако с учетом ситуации в лок-ячейке локалитет Ukhtasar-NE более благоприятен. С другой стороны, оценка климатической ситуации в клетках гнезда имеет определяющее значение для проведения поиска новых популяций вида. Согласно предложенной нами кодировке климатической ситуации в гнезде, нужно рекомендовать прежде всего гнездо вокруг локалитета Catak для поиска новых популяций вида в юго-восточной, южной, юго-западной и северо-западной клетках гнезда, для которых установлена наиболее высокая вероятность нахождения данного вида – выше 0,92. Обобщая региональную ситуацию на Армянском нагорье и в его горном обрамлении, можно сделать вывод о том, что юго-западный макросклон Гегамского хребта наиболее благоприятный для обитания *V. formosa* по комплексу изученных климатических и биоклиматических переменных.

4. В горах Большого Кавказа сосредоточено более половины всех известных локалитетов вида (36). При этом здесь нет локалитетов и гнезд с более благоприятным влиянием климатических факторов, чем на Армянском нагорье. Большинство кавказских локалитетов (25) находится в нейтральных условиях воздействия климатических факторов, шесть локалитетов расположены в зонах негативного влияния климата и пять – в зонах благоприятного климата: Sadyrlyar в Приэльбрусье (Карачаево-Черкесия) и четыре локалите-

та в Дагестане (Deavgay, Guton, Ragdanchay и Yalak). Анализ климатической ситуации в ячейках гнезд позволил установить, что наиболее благоприятная комбинация значений климатических переменных наблюдается в двух гнездах в Грузии (верховья р. Аргун – Ardolistavi и Kamgismagali) и в трех гнездах на территории Дагестана (Alakhundag, Guton и Taklik). Климатическая обстановка в этих пяти гнездах оценивается в 17 баллов, т. е. чуть более благоприятная, чем нейтральная. Нейтральная климатическая ситуация (16 баллов) характерна для четырех гнезд в пределах Большого Кавказа: по одному в Грузии (верховья р. Аргун – Karaty) и Чеченской Республике (Tebulosmta), два – в Дагестане (Bazarduzyu и NukatI). Под почти нейтральным воздействием климатических факторов (с уровнем 15 или 14 баллов) находятся локалитеты: Elbrus (15) в Кабардино-Балкарии, Diklosmta (15), Khazenty (15) и Komito (14) в Чеченской Республике, Addala-Shukgelmezr-S (15), Hvarshi (15), Kuraydag (15), Mullarchay (15) и Ragdanchay (14) в Дагестане, Yatukhdere (14) и Tufandag (15) в Азербайджане.

5. Три из четырех лок-ячеек Эльбурса испытывают негативное воздействие климатических переменных (Alamkuh, Demavend и Tochal), гнезда вокруг них также характеризуются неблагоприятной климатической обстановкой. В нейтральных условиях находится локалитет Varangehrud, обстановка в ячейках гнезда почти негативная (13), нейтральная – в западной, восточной, юго-восточной и юго-западной ячейках.

6. Согласно полученной вероятностной модели, вклад отдельно взятого предиктора варьирует от 0,00 (bio_13; tmean_7 и tmean_9; tmin_2 и tmin_12) до 23,19 % (tmean_5). Суммарный вклад всех 48 климатических переменных составил 69,65 %, тогда как суммарный вклад всех 19 биоклиматических переменных – 30,35 %. Заметно более высокая доля суммарного вклада климатических переменных (в 2,3 раза превышает долю суммарного вклада биоклиматических переменных) может быть вызвана заметно более высоким числом климатических переменных (в 2,5 раза больше, чем число биоклиматических переменных).

7. Триаду наиболее влиятельных предикторов составили: 1) средняя температу-

ра мая (вклад в полученную модель составил 23,19 %); 2) годовая амплитуда температур, от максимальной температуры наиболее теплого периода года до минимальной температуры наиболее холодного периода года (вклад 22,00 %), и количество атмосферных осадков в апреле (вклад 16,98 %). Доля суммарного вклада этих трех предикторов составила 62,17 %. Высокая роль среднемесячной температуры приземного слоя воздуха в мае может быть связана с началом вегетации в это время многолетних травянистых растений в условиях высокогорий. Сокращение периода вегетации из-за поздних заморозков не позволяет *V. formosa* завершить плодоношением сезонный цикл своего развития, что является одним из лимитирующих факторов распространения вида [Муртазалиев, Теймуров, 2009].

8. Численность особей в локальных популяциях *V. formosa* мала, наличие вегетативной подвижности (формирование длинных корневищ с последующей партикуляцией особей) [Муртазалиев, Теймуров, 2009] и низкая семенная продуктивность указывают на возможность формирования таких популяций, как клонов одного растения. Однако молекулярно-генетический анализ растений из двух модельных популяций позволил установить их высокое генетическое разнообразие [Smykal et al., 2017].

9. Вероятностная модель ареала вида, сгенерированная нами по 67 климатическим индикаторам в общемировом масштабе, заметно отличается от опубликованной ранее региональной модели, построенной по сокращенному набору климатических переменных, дополненному почвенными характеристиками [Smykal et al., 2017]. Модель, сгенерированная Р. Smykal с соавт. [2017], имеет желто-зеленую цветовую гамму в пределах всего ареала вида, что соответствует амбивалентной и умеренно благоприятной экологической ситуации. Полученная нами модель характеризуется высокой гетерогенностью экологической ситуации в пределах общего ареала вида (см. рис. 2), что отражено в графическом виде варьированием цветовой шкалы от синего до красного цвета. Эта модель хорошо согласуется со сведениями о высокой специфичности экологической приуроченности локальных популяций данного вида [Красная книга..., 1998, 2007, 2008; и др.].

Согласно результатам пространственного мониторинга экологической обстановки в локалитетах *V. formosa* по данным климатического моделирования ареала, выполненного методом максимальной энтропии в компьютерной программе MAXENT, анализа сведений о местонахождениях вида и наблюдениям авторов в природе выявлено, что растения данного вида обитают исключительно в высокогорьях на открытых незадернованных скальных осыпях в приледниковых зонах и распространены спорадически в горных системах Западной Азии и Юго-Восточной Европы (северный макросклон Большого Кавказа). Разработана оригинальная методика для оценки уровня благоприятности климата в конкретных участках ареала вида и предложен количественный способ такой оценки. По результатам выполненной оценки установлено, что по комбинации климатических индикаторов наиболее благоприятны следующие участки ареала *V. formosa*: Catak (9 баллов), Ughtasar-NE (4 балла), Geghama-SE и Geghama-NE (по 3 балла) в горах Армянского нагорья, Bolghardagh (3 балла) в Центральном Тавре, Alakhundagh, Ardotistavi, Guton, Kamgismagali, Taklik (по 1 баллу) в горах Восточного Кавказа. Экологическая ситуация в самих локалитетах оценена как слабо благоприятная для 11 местообитаний, амбивалентная – для 36 местообитаний и неблагоприятная – для 23 местообитаний. Подтверждена необходимость проведения мероприятий по охране популяций в пределах всего ареала вида, что согласуется с опубликованными ранее данными [Fayvush, Alexanyan, 2016; Noroozi et al., 2011; и др.].

Исследование выполнено в рамках государственного задания ЦСБС СО РАН по теме ААА-А-А17-117012610055-3 “Биологическое разнообразие криптогамных организмов (водоросли, грибы, лишайники) и сосудистых растений в геопространстве биотических и абиотических факторов, оценка их роли в водных и наземных экосистемах Северной Азии” (разработка методики) при частичной поддержке РФФИ (грант 19-04-00658). При подготовке публикации использованы материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН УНУ “Гербарий высших сосудистых растений, лишайников и грибов (NS, NSK)”, USU 440537.

ЛИТЕРАТУРА

- Красная книга Армении (растения). Ереван, 2010. 598 с.
- Красная книга Армянской ССР. Исчезающие и редкие виды растений. Ереван: Айастан, 1989. 270 с.
- Красная книга Кабардино-Балкарской Республики. 2-е изд. Нальчик: Печатный двор, 2018. 494 с.
- Красная книга Карачаево-Черкесской Республики. Черкесск: Нартиздат, 2013. 360 с.
- Красная книга Краснодарского края: Растения и грибы. 2-е изд. Краснодар: Дизайн Бюро, 2007. 639 с.
- Красная книга Краснодарского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Краснодар: Кн. изд-во, 1994. 285 с.
- Красная книга растений Республики Армения (на армянском языке). 2011.
- Красная книга Республики Дагестан. Редкие, находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. Махачкала, 1998. 338 с.
- Красная книга Республики Дагестан. Махачкала, 2009. 552 с.
- Красная книга Республики Ингушетия: Растения. Животные. Магас: Сердало, 2007. 376 с.
- Красная книга Республики Северная Осетия – Алания: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Владикавказ: Проект-Пресс, 1999. 248 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
- Красная книга РСФСР. Растения. М.: Росагропромиздат, 1988. 591 с.
- Красная книга Чеченской Республики: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. Грозный: Южный изд. дом, 2007. 432 с.
- Муртазалиев Р. А., Теймуров А. А. Вавиловия прекрасная – *Vavilovia formosa* // Красная книга Республики Дагестан. Махачкала, 2009. С. 206–207.
- Муртазалиев Р. А., Мусаев А. М., Бурляева М. О., Гусейнова З. А., Раджабов Г. К., Александрова Т. Г., Кочеруба В. В. *Vavilovia formosa* и *Cicer minutum* (Fabaceae) в Дагестане // Ботан. журн. 2012. Т. 97, № 7. С. 961–966.
- Попов К. П. Вавиловия прекрасная – *Vavilovia formosa* // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. С. 266–268.
- Erschbamer B., Kiebacher T., Mallaun M., Unterluggauer P. Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps // Plant Ecol. 2009. Vol. 202. P. 79–89.
- Fayvush G. M., Alexanyan A. S. Climate change as threat to plant diversity of Armenia // Takhtajania. 2016. N 3. P. 112–126.
- Guisan A., Theurillat J.-P. Assessing alpine plant vulnerability to climate change: a modeling perspective // Integrated Assessment. 2001. N 1. P. 307–320.
- Holzinger B., Hulber K., Camenisch M., Grabherr G. Changes in plant species richness over the last century in the eastern Swiss Alps: elevational gradient, bedrock effects and migration rates // Plant Ecol. 2008. Vol. 195. P. 179–196.
- Kurt L., Ketenoglu O., Tug G. N., Sekerciler F. Chapter 11. Highland vegetation of Inner and Eastern Anatolia and the effects of global warming // Climate change impacts on high-altitude ecosystems / Ed. M. Ozturk et al. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. P. 275–288.
- Noroozi J., Pauli H., Grabherr G., Breckle S.-W. The sub-nival-nival vascular plant species of Iran: a unique high-mountain flora and its threat from climate warming // Biodiver. Conservat. 2011. Vol. 20. P. 1319–1338.
- Parolly G. Chapter 3. The high-mountain flora and vegetation of the Western and Central Taurus Mts. (Turkey) in times of climate change // Climate change impacts on high-altitude ecosystems / Ed. M. Ozturk et al. Springer International Switzerland: Publishing, 2015. P. 99–134.
- Phillips S. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. 2009. Exercise. American Museum of Natural History, Lessons in Conservation. Available at <http://ncep.amnh.org/line>
- Porolo G., Rossi G. Upward migration of vascular plant following a climate warming trend in the Alp // Basic and Appl. Ecol. 2008. N 9. P. 100–107.
- Smykal P. et al. Spatial patterns and intraspecific diversity of the glacial relict legume species *Vavilovia formosa* (Stev.) Fed. in Eurasia // Plant Syst. Evolut. 2017. Vol. 303. P. 267–282. doi 10.1007/s00606-016-1368-5
- Terzioglu S., Tufekcioglu A., Kucuk M. Chapter 15. Vegetation and plant diversity of high-altitude mountains in Eastern Karadeniz (Black Sea) region of Turkey and climate change interaction // Climate change impacts on high-altitude ecosystems / Ed. M. Ozturk et al. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. P. 383–408.
- Vishnyakova M., Burlyayeva M., Akopian Ja., Murtazaliev R., Mikić A. Reviewing and updating the detected locations of beautiful vavilovia (*Vavilovia formosa*) on the Caucasus sensu stricto // Genet. Res. and Crop Evolut. 2016. Vol. 63, N 7. P. 1085–1102.
- Walther G. R., Beissner S., Burga C. A. Trends in upward shift of alpine plants // J. Vegetat. Sci. 2005. Vol. 16. P. 541–548.

Spatial monitoring of recent ecological situation in localities of *Vavilovia formosa* (Fabaceae) based on data of predictive climatic modeling

K. S. BAIKOV¹, D. A. KRIVENKO², R. A. MURTAZALIEV³, V. V. MURASHKO², E. V. BAIKOVA¹

¹Central Siberian Botanical Garden of SB RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101

²Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of SB RAS
664033, Irkutsk, Lermontov str., 132

³Mountain Botanical Garden of the Dagestan Scientific Centre
367000, Republic Dagestan, Makhachkala, Gadgiev str., 45
E-mail: kbaikov2018@mail.ru

Spatial monitoring was carried out and the ecological situation was experimentally assessed in local populations of plants of the relict endemic species *V. formosa*, according to the climate modeling of the range carried out by the method of maximum entropy. Plants of this species live exclusively in the highlands on open ungrounded shale screes in the glacial zones and distributed sporadically in the mountain systems of Taurus, Armenian Highlands, the Caucasus and Elburz. *V. formosa* is a very rare species, as a result of which it is listed in the state Red Books of Russia, Azerbaijan and Armenia, as well as numerous regional Red Books. The limiting factors determining its rarity were not previously reliably established, which necessitated the assessment of the environmental situation at the same time at all points of growth of this species according to climate modeling. An original technique has been developed for assessing the environmental situation in and around localities, with the following gradations highlighted: favorable, unfavorable, and ambivalent. A quantitative method of such an assessment (in points) is proposed. As a result, the territories with the more favorable climatic conditions for local populations of *V. formosa* were identified. The ecological situations directly in localities were assessed as slightly favorable for 11 local populations, unfavorable for 23 local populations, and ambivalent for 36 local populations. Such technique for decoding the ecological situation around localities according to climate modeling is proposed here for the first time in world practice. It is aimed at obtaining the most accurate formalized information about the climatic situation in each locality and in each cell of the nest surrounding the locality, within the full range of the species. To formalize the description of a specific climatic situation, it is proposed to use the color scale of rasters generated in the MAXENT computer program. 1 point was assigned for loci that are under the influence of the negative complex of climatic factors (blue segment of the spectrum); 2 points for loci that are under the neutral influence (green segment of the spectrum); 3 points for loci that are under the positive (favorable) influence of climatic factors (yellow-red segment of the spectrum).

Key words: spatial monitoring, environmental assessment, climate modeling, locality, predictor, local population, *Vavilovia formosa*.