

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Центральный ботанический сад
Научно-практический центр по биоресурсам
Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича
Институт леса



Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов

Материалы III Международной конференции,
посвященной 110-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского
(7–9 октября 2015 г., Минск, Беларусь)

**В двух частях
Часть 1**

**Секция 1. Ресурсы и биоразнообразие растительного мира:
современное состояние, воспроизводство, охрана
и устойчивое использование**

**Секция 2. Современные направления изучения
ботанических коллекций для сохранения
и рационального использования
биоразнообразия растительного мира**

Минск
«Конфидо»
2015

УДК 502.174:574.1(082)

ББК 20.18я43

П78

Редакционная коллегия:

д.б.н., чл.-кор. НАН Беларуси В.В. Титок (ответственный редактор),

д.б.н. Е.И. Анисимова,

к.б.н. Б.Ю. Аношенко,

к.б.н. Д.Б. Беломесецева,

к.б.н. П.Н. Белый,

д.б.н. Е.И. Бычкова,

к.б.н. Т.В. Волкова,

к.б.н. Л.В. Гончарова,

д.б.н. С.А. Дмитриева,

к.б.н. Е.Я. Куликова,

к.б.н. А.В. Пугачевский,

д.б.н., чл.-кор. НАН Беларуси В.П. Семенченко,

к.б.н. В.А. Цинкевич

Материалы печатаются в авторской редакции.

Иллюстрации предоставлены авторами публикаций.

П78 **Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов:** материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского. (7–9 октября 2015, Минск, Беларусь). В 2 ч. Ч. 1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск: Конфидо, 2015. – 514 с.

ISBN 978-985-6777-74-8.

В сборнике представлены материалы III Международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов», посвященной 110-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского. Часть 1: секция 1 «Ресурсы и биоразнообразие растительного мира: современное состояние, воспроизводство, охрана и устойчивое использование» и секция 2 «Современные направления изучения ботанических коллекций для сохранения и рационального использования биоразнообразия растительного мира».

УДК 502.174:574.1(082)

ББК 20.18я43

ISBN 978-985-6777-74-8

© ГНУ «Центральный ботанический сад
Национальной академии наук Беларуси», 2015
© Оформление. ЗАО «Конфидо», 2015

Использование гербарных коллекций для экологического моделирования

Олонова М.В.

Томский государственный университет, Томск, Россия, olonova@list.ru

Резюме. Успех расселения и закрепления вида на новой территории, так же, как и выживание редких и исчезающих видов, во многом зависят от климатических факторов. Выявление климатической ниши вида позволяет с большой долей вероятности прогнозировать районы его успешной интродукции, но программы, моделирующие потенциальный ареал вида, требуют точных географических координат. Для этой цели успешно используются как литературные источники, так и базы данных. Однако в спорных случаях именно гербарные образцы служат документальным подтверждением нахождения вида в данном географическом пункте, поэтому ни атласы, ни базы данных не могут полностью заменить гербарные коллекции.

Summary. Olonova M.V. **Use of herbarium collections for ecological modeling.** The success of the distribution and settlement of species in the new territory, as well as the survival of rare and endangered species is largely dependent on climatic factors. Identifying a climatic niche of species allows to predict the areas of its successful introduction more likely, but the programs, which construct the potential range of the species, require precise geographical coordinates. The literary sources and databases are using successfully for this purpose, but in doubtful cases herbarium specimens only serve as documentary evidence of occurrence of species in given geographical point. So, neither atlases nor databases can completely replace the herbarium collection.

Известно, что благодаря хозяйственной деятельности человека виды на планете исчезают быстрее, чем биологи успевают их обнаружить и изучить. К настоящему времени подсчитано, что из-за вырубки лесов, чрезмерной эксплуатации природных экосистем, неконтролируемого применения пестицидов и других антропогенных воздействий, приводящих к изменению среды обитания, наблюдаются самые быстрые с конца мелового периода темпы вымирания видов. Предполагается, что эти темпы в 1000 раз превосходят естественные темпы вымирания (Biodiversity Committee CAS, on-line). Однако нарушение человеком среды обитания, ведущее к вымиранию видов, не единственная угроза биоразнообразию. В последнее время на передний план природоохранной деятельности выходит проблема чужеродных и инвазивных видов. По данным The Natural Conservancy and Natural Serve (Cabral et al., on-line), потери биоразнообразия, вызванные инвазивными видами, лишь немногим меньше потерь из-за нарушения местообитания [1–16]. В понятие «инвазивный вид» многие авторы часто вкладывают разный смысл, но большинство различают чужеродные и инвазивные виды. И те, и другие – это виды, намеренно или непреднамеренно интродуцированные за пределы своих природных мест обитания. В отличие от чужеродных, инвазивные виды активно вторгаются в природные сообщества, самостоятельно там закрепляются, успешно конкурируют с местными видами и нередко занимают господствующее положение. Это приводит к существенным изменениям в растительных сообществах, угнетению и вытеснению местных видов. При этом особенно страдают наиболее уязвимые – редкие и реликтовые виды. Инвазивные виды также оказывают влияние на эволюционный процесс и могут изменить генофонд аборигенных видов. Интрогрессивная гибридизация способна привести к полному исчезновению отдельных видов местной флоры. Инвазивные виды в настоящее время не только наносят большой экономический ущерб, но и угрожают существованию природных экосистем. Помимо вытеснения аборигенных видов, чужеродные инвазивные виды прямо или косвенно наносят ущерб среде обитания. Так, они способны существенно изменить физические и химические условия среды, влиять на круговорот воды и углеродный обмен (Elton, 1958; Cabral et al., on-line).

Известно, что успех закрепления и расселения вида на новой территории, так же, как и выживание редких и находящихся под угрозой исчезновения видов, зависят от множества причин. Первой из них С.С. Elton (1958) называет конкурентоспособность видов, которая определяется их биологическими особенностями. Однако при этом, как отмечает Г.П. Москаленко (2002), согласно теории климатических аналогов, успешная интродук-

ция возможна только при неперенном сходстве экологических условий. Поэтому, зная, в каких условиях распространен тот или иной вид, можно с большой долей вероятности прогнозировать районы его успешной интродукции. Современный научный подход как к сохранению видов, находящихся под угрозой исчезновения, так и к предотвращению расселения инвазивных видов, предполагает выяснение потенциальных возможностей их распространения, связанных с климатическими требованиями видов (Ward, 2007) или выявление их потенциальных ареалов.

Понятие потенциального ареала вида было дано Т.А. Работновым (1983). Под ним понимается область, где климатические условия благоприятны для произрастания вида. Эта характеристика вплотную приближается к понятию экологического ареала, сформулированного В.П. Селедцом и Н.С. Пробатовой (2007). Однако в отличие от экологического ареала, который значительно более детально характеризует условия произрастания, выявление потенциального ареала не требует столь точного исследования и определения места вида в координатах экологических шкал. Потенциальный ареал опирается на климатические показатели и может быть определен с помощью биоклиматического моделирования, основанного на использовании ГИС-технологий (Anderson et al., 2003). Биоклиматическое моделирование распространения видов, основанное на использовании климатических показателей и ГИС-технологий, может выявить территории, подходящие по своим климатическим характеристикам для произрастания того или иного вида.

В настоящее время существует несколько методов биоклиматического моделирования. Большинство из них основано на выявлении экологической ниши исследуемых видов, которая устанавливается путем комбинации данных географического распространения видов (географических координат «точек присутствия») и климатических характеристик этих точек. Полученная модель затем проецируется на электронную карту изучаемого региона. Она показывает потенциальное распространение вида и определяет области, где данный вид может произрастать и куда он может распространиться в будущем (Ward, 2007). Более темным тоном на карте отмечаются области с наиболее благоприятными для каждого вида комбинациями климатических характеристик. Следует, однако, помнить, что речь идет о моделировании вероятностного распределения климатических условий, благоприятных для произрастания того или иного вида, а успех выживания или, наоборот, внедрения в растительные сообщества зависит в немалой мере и от других причин – конкурентных способностей вида, взаимосвязей компонентов сообщества.

Метод BIOCLIM, разработанный Н. Нix (1986), помимо прогнозной карты, визуализирует занимаемую видом экологическую нишу двумя путями: в виде гистограммы и «конверта». Гистограмма показывает частоты различных климатических параметров, наблюдаемых у вида в заданной области, а «конверт» – двухмерную нишу вида, основанную на двух климатических параметрах (Schelderman, van Zonneveld, 2010).

Метод DOMAIN, предложенный Carpenter et al. (1993), использует меру сходства Говера (Gower metric) для определения множественных расстояний между климатическими показателями в точках произрастания вида в изучаемом регионе. В результате создаются слои, где для каждой ячейки раstra определяется расстояние Говера между этой ячейкой и ближайшей точкой, где был зарегистрирован вид. Значения, вычисленные DOMAIN, представляют собой меру сходства и выражаются индексом пригодности местообитания для произрастания данного вида, значения которого варьируют от 0 до 100 %. Методы BIOCLIM и DOMAIN, разработанные в конце прошлого столетия, в настоящее время заслуженно критикуются за ограниченные возможности оценки полученных моделей, и наиболее востребованным сегодня является метод MaxEnt (Anderson et al., 2003; Philips et al., 2006).

MaxEnt (максимальной энтропии), предложенный S.J. Phillips (2006, 2008), в настоящее время один из самых эффективных методов моделирования распределения видов на основании данных только о присутствии вида, существенно превосходя и DOMAIN, и BIOCLIM (Franklin, 2010). MaxEnt оценивает распределение подходящих условий оби-

тания для исследуемого вида в соответствии с принципами максимальной энтропии. Энтропия в информатике является мерой непредсказуемости и неопределенности информации, или, другими словами, это количество информации, которая содержится в случайной изменчивости или неизвестной величине (Ward, 2007). Информационная и термодинамическая энтропии тесно связаны между собой, и получение информации влечет за собой потерю энтропии. MaxEnt рассчитывает распределение вероятности ячеек раstra, начиная с равномерного, шаг за шагом уточняя соответствие модели введенным данным. Прирост начинается с нуля и асимптотически увеличивается в процессе расчета. Определяется прирост как средняя логарифмическая вероятность присутствия объекта, минус константа, которая делает прирост равномерного распределения равным нулю. В конце расчета прирост показывает, насколько сильно модель сконцентрирована вокруг «точек присутствия». Получающаяся на выходе карта показывает вероятность присутствия объекта на различных территориях. Метод хорош и тем, что показывает вклад каждой переменной в полученную модель распределения, поэтому мы можем оценить вклад каждой биологически значимой климатической переменной, включенной в анализ, в полученную модель распространения вида (Philips et al., 2006; Schelderman, van Zonneveld, 2010).

Большинство методов моделирования требует для построения моделей данных не только о присутствии вида в той или иной точке заданного района, но и отсутствия видов. Несомненным достоинством всех трех вышеперечисленных методов является то, что их использование не требует данных об отсутствии вида в тех или иных точках. Разумеется, привлечение этих данных повысило бы точность прогноза, но слабая изученность территории Сибири в ботаническом отношении исключает возможность их использования. Для оценки построенной MaxEnt модели все включенные в анализ «точки присутствия» вида подразделяются на обучающие (обучающая выборка), которые служат для создания модели (75 %), и тестирующие (25 %), использующиеся для проверки модели. Одним из важных параметров для оценки полученной модели является AUC (Area Under Curve), представляющий собой площадь под операционной кривой (Receiver Operating Curve). AUC измеряет способность модели различать пункты, где вид присутствует, и пункты, где он отсутствует, и изменяется от 0 до 1. При этом 1 означает полную дискриминацию, а 0,5 – что дискриминация не лучше случайной. Значение 85 % для AUC означает, 85%-ную вероятность того, что в местах, где предсказано присутствие вида, он реально присутствует. Отличной считается AUC более 0,9, хорошей – от 0,8 до 0,9 и приемлемой – от 0,7 до 0,8 (Philips et al., 2006; Schelderman, van Zonneveld, 2010).

Помимо прогнозирования области потенциального распространения, алгоритм MaxEnt может также выявить роль каждой переменной в модели распределения и их прогностическую значимость. Для этого предлагается два независимых метода – пермутация и jackknife-тест. При пермутации вклад каждой переменной определяется путем случайного изменения значений этой переменной в обучающей выборке и измерения результирующего уменьшения AUC. Существенное уменьшение значения AUC будет свидетельствовать о том, что модель сильно зависит от этой переменной. Для того чтобы выразить значение каждой переменной в процентах, полученные результаты нормализуются (Schelderman, van Zonneveld, 2010). Альтернативный метод оценки переменных jackknife-тест состоит в том, что из анализа по очереди исключаются все переменные, и модель создается на основании оставшихся. На графике эти столбцы окрашены в светло-голубой цвет. Затем модель создается только с этой переменной (темно-синие столбцы). Затем – дополнительно, для сравнения – со всеми переменными (красный столбец). Переменная с самым коротким светло-голубым столбцом содержит более всего уникальной информации (Schelderman, van Zonneveld, 2010). Таким образом, мы можем протестировать и обучающую выборку, и тестирующую, и AUC.

Из всего изложенного видно, какую роль в построении модели играет обучающая выборка, и как важно, чтобы она охватила весь возможный климатический диапазон, в котором вид способен существовать. Но для этого надо располагать точными географическими координатами мест, где растение было отмечено. В настоящее время существует

множество литературных источников, содержащих подробные точечные карты распространения видов. Это и атласы (Meusel et al., 1965; Hulten, 1971), и многочисленные «Флоры». В последнее время появилось множество баз данных, охватывающих как отдельные небольшие регионы и страны, так и отражающие распространение видов в мировом масштабе, и значение этих баз трудно переоценить. Тем не менее, когда мы имеем дело не с легко узнаваемыми видами, возникают сомнения в правильности определения исходного материала. Случается, что хорошо известный вид был подразделен на несколько близкородственных, да еще при этом и викарирующих видов. В этом случае очень важно бывает проверить точность определения или установить границы распространения викарирующих видов, чего никак нельзя сделать в отсутствии гербарного материала. Именно гербарные образцы служат документальным подтверждением нахождения вида в данном географическом пункте, и при выявлении точных мест произрастания видов ни атласы, ни базы данных не могут полностью заменить гербарные коллекции. Очень существенно облегчает задачу наличие на этикетке координат места сбора. В настоящее время большинство полевых ботанических отрядов имеет в своем распоряжении GPS-устройства, и обозначение координат на этикетке должно стать таким же правилом, как указание местобитания и даты сбора.

Исследования были поддержаны грантами РФФИ (№ 13-04-01715), BIO-GEO-CLIM (резолуция Правительства РФ № 220, согл. 14B25.31.0001) и научным фондом имени Д.И. Менделеева Томского госуниверситета.

Список литературы

1. Москаленко, Г.П. Оценка потенциальной опасности адвентивных видов для ландшафтов / Г.П. Москаленко // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов: сб. материалов круглого стола Всерос. конф. по экологической безопасности России (4–5 мая 2002 г.). – М.: ИПЭЭ имени А.Н. Северцова, IUCN МСОП, 2002. – С. 94–104.
2. Работнов, Т.А. Фитоценология. Изд. 2-е / Т.А. Работнов. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 292 с.
3. Селедец, В.П. Экологический ареал вида у растений / В.П. Селедец, Н.С. Пробатова. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 98 с.
4. Anderson, R.P. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting models / R.P. Anderson, D. Lew, A.T. Peterson // Ecological Modelling. – 2003. – Vol. 162. – P. 211–232.
5. Biodiversity Committee CAS. Biodiversity in China. Status and classification needs. Copyright © 1992 by Science press Published by Science press. – Режим доступа: <http://www.brim.ac.cn/brime/bdinehu/index.html>. – Дата доступа: 12.05.2011.
6. Cabral, H. Ornamental plant species that threaten biodiversity in Mexico / H. Cabral, I.J. March, G.J. Alanis. – Режим доступа: http://weedcenter.org/wab/2010/docs/presentations/Session-02/Cabral/CABRAL_PowerPoint.pdf. – Дата доступа: 12.05.2011.
7. Carpenter, G. DOMAIN a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants, animals / G. Carpenter, A.N. Gillison, J. Winte // Biodivers. Conserv. 1993. – Vol. 2. – P. 667–680.
8. Elton, C.S. The ecology of invasions by animal and plants / C.S. Elton. – London: Methuen, 1958. – 181 p.
9. Franklin, J. Mapping species distribution: spatial inference and prediction / J. Franklin. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – 320 p.
10. Hulten, E. Atlas of the distribution of the vascular plants in Nowestern Europe. Ed. 2 / E. Hulten. – Stockholm, 1971. – 515 p.
11. Meusel, H. Vergleichende Chorologie der Zentraleuropaischen Flora / H. Meusel, E. Jager, E. Weinert // Jena. – 1965. – 583 p. (Text); 285 p. (Karten).
12. Nix, H. A biogeographic analysis of Australian Elapid snakes / H. Nix // Longmore R. (ed.) Snakes: atlas of Elapid snakes of Australia, 1986. – P. 4–15.
13. Phillips, S.J. Maximum entropy modeling of species geographic distributions / S.J. Phillips, R.P. Anderson, R.E. Schapire // Ecological Modeling. – 2006. – Vol. 190. – P. 231–259.
14. Phillips, S.J. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation / S.J. Phillips, M. Dudic // Ecography. – 2008. – Vol. 31. – P. 161–175.
15. Schelderman, X. Training manual on spatial analysis of plant diversity and distribution / X. Schelderman, van Zonneveld M. – Rome: Biodiversity International, 2010. – 180 p.
16. Ward, D.F. Modeling the potential geographic distribution of invasive ant in New Zealand / D.F. Ward // Bio Invasions. – 2007. – Vol. 9. – P. 723–735.