

конференция «Мониторинг і ацэнка расліннага свету. Мінск–Белавежская пушча, 2018. С. 31–33.

3. Тимонов А.С., Домнина Е.А., Кантор Г.Я. Выбор оптимальных условий аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для целей детального геоботанического картирования на примере пойменного луга // Биодиагностика природных и природно-техногенных систем: Матер. XV Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием. Киров: ВятГУ, 2017. Кн. 2. С. 261–266.

4. Домнина Е.А., Тимонов А.С., Кантор Г.Я., Кислицина А.П., Савиных В.П. Опыт составления детальной карты растительности пойменного луга // Теоретическая и прикладная экология. 2017. №1. С. 42–49.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Ю.А. Дорогова, Н.В. Турмухаметова, Л.А. Жукова
Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола
e-mail: botanicamgy@inbox.ru, bonid@mail.ru, pinus9@mail.ru

THE USE OF ECOLOGICAL SCALES FOR THE ANALYSIS OF ECOLOGICAL DIVERSITY OF FOREST ECOSYSTEMS

Y.A. Dorogova, N.V. Turmuhametova, L.A. Zhukova
Mari State University, Yoshkar-Ola
e-mail: botanicamgy@inbox.ru, bonid@mail.ru, pinus9@mail.ru

Abstract. The article shows the possibility of using environmental scales and methods for assessing the ecological valence and tolerance of plant species to characterize the ecological diversity of forest ecosystems. It is established that the dominants tree and grass-shrub tier are species with high tolerance to most climatic and soil factors.

Проблема экологической характеристики условий существования различных растительных сообществ, образованных многочисленными ценопопуляциями (ЦП) растений является достаточно актуальной при изучении лесных экосистем. Тесная взаимосвязь ЦП растений с условиями существования позволяет по особенностям среды судить о потребностях растений и их экологических позициях по шкалам конкретных факторов. В России эта идея нашла свое воплощение в создании первых диапазонных пятифакторных экологических шкал [1], десятифакторных шкал [2], различных региональных шкал [3].

Принятые в англоязычной и отечественной литературе понятия «экологическая валентность» и «толерантность», до сих пор используются как для

одного, так и для группы факторов. Для выявления количественной оценки использования каждого фактора тем или иным видом Л.А. Жуковой предложено понятие «экологической валентности», для комплекса факторов – «толерантности» или «бионтности» видов [4, 5].

За потенциальную экологическую валентность (PEV) вида мы принимаем меру приспособленности популяций конкретного вида к изменению только одного экологического фактора. Экологическую позицию вида можно оценить диапазоном значений фактора, в пределах которого могут существовать популяции изучаемого вида. Для градации шкалы каждого фактора Д.Н. Цыганов [2] использовал не его конкретные значения, а баллы. Экологическую валентность можно определить, как отношение числа баллов (ступеней) конкретной шкалы, занятой видом, к общей протяженности шкалы данного фактора в баллах. В итоге получаем потенциальное значение экологической валентности вида, равное доле диапазона баллов конкретного вида от всей шкалы фактора: $PEV = (A_{max} - A_{min} + 1) / n$, где A_{max} и A_{min} – максимальные и минимальные значения баллов шкалы, занятых отдельным видом; n – общее число баллов в шкале; 1 – добавляется как 1-е деление шкалы, с которого по данному фактору начинается диапазон вида [4].

При проведении исследований конкретной ценопопуляции или сообщества реализованную экологическую валентность (REV) аналогично можно представить в виде формулы, показывающей долю использования шкалы конкретного фактора этими популяциями: $REV = (A_{max} - A_{min} + 0, 1) / n$.

Эффективность освоения экологического пространства вида конкретными ценопопуляциями по каждому фактору оценивается при помощи коэффициента экологической эффективности (К.ес.эфф.), который рассчитывается как отношение реализованной валентности к потенциальной валентности [5].

Соотнесение суммы потенциальных экологических валентностей конкретного вида по n -ному числу факторов к числу рассматриваемых шкал, учитывая, что вклад каждой шкалы равен единице, дает индекс толерантности (I_t). Индекс толерантности показывает меру стено-эврибионтности каждого вида [4].

По каждому фактору вводится разделение на стено-, гемистеновалентные, мезо-, гемиэвривалентные и эвривалентные фракции. Стеновалентными считаются виды, занимающие менее 1/3 шкалы, эвривалентными – более 2/3 шкалы, остальные виды – мезовалентными [4]. Последние могут быть разделены на гемистено-, мезо- и гемиэвривалентные фракции. Популяции стеновалентных видов характеризуются низкой потенциальной экологической валентностью и могут выдерживать лишь ограниченные изменения определенного экологического фактора, популяции эвривалентных видов (с высокой PEV) способны занимать различные местообитания с чрезвычайно изменчивыми условиями. Распределение видов по группам толерантности имеет тот же принцип, что и для отнесения видов к той или иной фракции экологической валентности. Можно выделить следующие фракции валентности и группы

толерантности видов: стеновалентная (СВ) и стенобионтная (СБ) – показатель валентности или индекс толерантности не превышает 0,33; гемистеновалентная (ГСВ) и гемистенобионтная (ГСБ) – от 0,34 до 0,45; мезовалентная (МВ) и мезобионтная (МБ) – от 0,46 до 0,56; гемизэвривалентная (ГЭВ) и гемизэврибионтная (ГЭБ) – от 0,57 до 0,66; эвривалентная (ЭВ) или эврибионтная (ЭБ) – от 0,67 и более. Чем больше I_t , тем теоретически выше возможность использования экологически разнообразных местообитаний популяциями конкретного вида.

Для выявления специфики экологического предпочтения популяций отдельных видов и разных эколого-ценотических групп, валентности и толерантности константных видов лесных и опушечных фитоценозов центра лесной зоны европейской части России по отношению к климатическим и почвенным факторам рассматривали эколого-ценотические группы (ЭЦГ) растений, выделенные О.В. Смирновой и Л.Б. Заугольной [6, 7], включающие 411 видов.

Расчеты экологической валентности и индексов толерантности видов для 8 ЭЦГ хвойно-широколиственных и широколиственных лесов европейской части России выявили следующую закономерность [4, 8]. Все доминирующие и содоминирующие виды по величине I_t являются эври-, гемизэври- или мезобионтными с редкими проявлениями стеновалентности по отдельным факторам. Это позволяет предположить, что основными ценозообразователями и доминантами как древесного, так и травяно-кустарничкового яруса могут быть только ЦП видов, проявляющих высокую толерантность к большинству рассмотренных экологических факторов. Мезо- и гемизэврибионты, составляя большинство в рассмотренных ЭЦГ, объединяют признаки стено- и эвривалентности. Роль ЦП этих видов – заполнение свободных экологических ниш в фитоценозах. Экологическая толерантность дает преимущество в межвидовой конкуренции, способствует активному расширению ареала вида, определяет устойчивость при различных стрессах. Многие стенобионтные и гемистенобионтные виды, приспособленные к существованию в узких диапазонах по большинству экологических факторов, выступают в роли ассектаторов, становятся редкими и исчезающими видами.

Для подзоны хвойно-широколиственных лесов на примере двух географических районов исследовано экологическое разнообразие 13 видов древесных растений; построены лепестковые диаграммы (рис.) с использованием показателей потенциальных и реализованных экологических валентностей [5]. Для получения экологических параметров местообитаний ЦП модельных видов флористические списки сосудистых растений соответствующих геоботанических описаний обработаны с использованием компьютерной программы EcoScaleWin [9].

Так, например, в исследованных фитоценозах Московской области и Республики Марий Эл выявлены сходные значения REV изученных ЦП сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), за исключением шкалы Rc – кислотности почвы (рис.). По совокупности климатических факторов

P. sylvestris принадлежит к гемиэврибионтным видам [5, 10]. Она максимально реализует свои потенции по шкале континентальности климата: популяции *P. sylvestris* способны произрастать при различных режимах данного фактора – от морского до самого континентального. По всем климатическим шкалам экологические условия изученных местообитаний *P. sylvestris* занимают центральное положение в потенциальных диапазонах факторов за исключением шкалы континентальности климата. Сосна обыкновенная может быть эвривалентна по шкале богатства почв азотом и шкале кислотности почвы. Она гемистеновалентна по шкалам переменности увлажнения и трофности почвы. Граница диапазона по шкале богатства почв азотом в изученных местообитаниях сдвинута вправо по сравнению с трофностью и кислотностью почвы, т.е. в сторону большего богатства почв азотом.

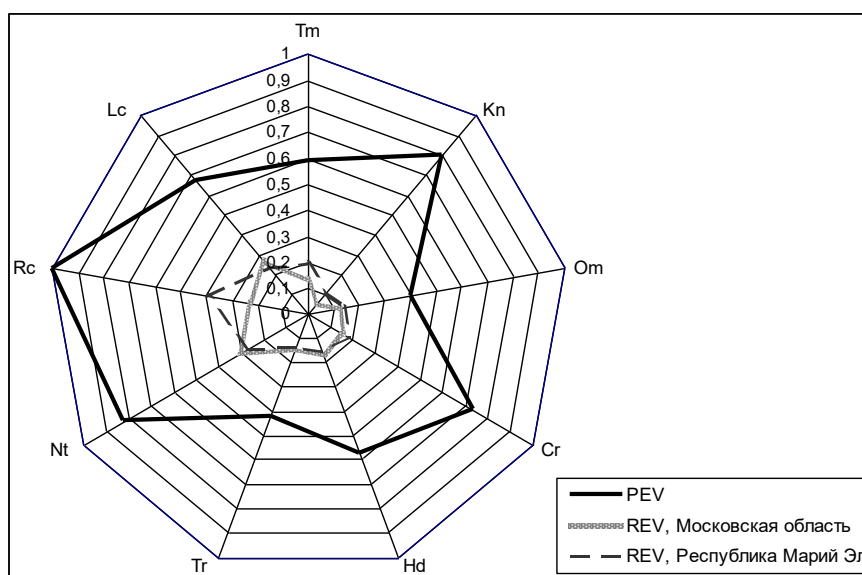


Рис. Потенциальная (PEV) и реализованные (REV) экологические валентности изученных ЦП *Pinus sylvestris* на территории Московской области и Республики Марий Эл: Tm – термоклиматический, Kn – континентальности климата, Om – омброклиматический аридности-гумидности, Cr – криоклиматический, Hd – увлажнение почвы, Tr – солевой режим почв, Nt – богатство почв азотом, Rc – кислотность почв, Lc – освещенность-затенение

При анализе распространения исследованных древесных растений, в том числе и *P. sylvestris*, по растительным зонам России выявлена следующая закономерность: чем выше климатический индекс толерантности, тем шире экологические амплитуды видов по отношению к режимам тепла, влажности воздуха, суровости зим, и тем большее число зон охватывают их ареалы. Следовательно, это обуславливает возможность использования экологических шкал и методов оценки экологической валентности и толерантности для характеристики экологического разнообразия лесных экосистем.

Таким образом, обработка геоботанических описаний по флористическим спискам с помощью компьютерной программы EcoScaleWin [9] позволяет определить экологическое разнообразие местообитаний ценопопуляций и сообществ лесных экосистем, выявить факторы, ограничивающие распространение ценопопуляций видов, определить меры по их сохранению.

Библиографический список

1. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
2. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 198 с.
3. Региональные экологические шкалы для лесной растительности Дальнего Востока / Т.А. Комарова, Е.В. Тимощенкова, Н.Б. Прохоренко и др. Владивосток: Дальнаука, 2003. 277 с.
4. Жукова Л.А. Оценка экологической валентности основных эколого-ценотических групп: подходы и методы // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн.1. М.: Наука, 2004. С. 256–259.
5. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений / Л.А. Жукова, Ю.А. Дорогова, Н.В. Турмухаметова и др. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2010. 368 с.
6. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / О.В. Смирнова, Л.Б. Заугольнова, Л.Г. Ханина и др. М.: Научный Мир, 2000. 196 с.
7. Сохранение и восстановление биоразнообразия / В.Е. Флинт, О.В. Смирнова, Л.Б. Заугольнова и др. М.: Издание научного и учебно-методического центра, 2002. 286 с.
8. Жукова Л.А. Дорогова Ю.А., Турмухаметова Н.В., Гаврилова М.Н., Полянская Т.А., Акшенцев Е.В. Использование экологических шкал для оценки экологического разнообразия местообитаний популяций и сообществ // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: Матер. Всерос. конф. (Санкт-Петербург, 20–24 сентября 2011 г.). Том 2: Структура и динамика растительных сообществ. Экология растительных сообществ. Санкт-Петербург, 2011. С. 351–354.
9. Зубкова Е.В., Ханина Л.Г., Грохлина Т.И., Дорогова Ю.А. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScaleWine. Йошкар-Ола, 2008. 96 с.
10. Жукова Л.А., Нотов А.А., Турмухаметова Н.В., Тетерин И.С. Онтогенез сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Онтогенетический атлас растений. Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. Т. 7. С. 26–65.