

УДК 630*182+581.55+ 57.055

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО УСЛОВНО-КОРЕННЫХ ТИПОВ ЛЕСА В ГОРАХ СРЕДНЕГО УРАЛА

Иванова Н.С., Золотова Е.С.

*ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. 8-Марта, 202)
i.n.s@bk.ru, afalinakate@gmail.com*

В статье приведена информация о возникновении экологических шкал, их разнообразии и применении, указаны различия между точечными и диапазонными шкалами. На основе диапазонных шкал Д.Н. Цыганова оценено экологическое пространство 12 типов условно-коренных лесов южно-таежного округа Зауральской холмисто-предгорной провинции (Средний Урал), выделенных на основе генетической типологии. Исследовано влияние 17 факторов на структуру растительности. Проведен неотклоняемый анализ соответствий (DCA) (использован R, пакет vegan), рассчитаны корреляции изученных факторов с осями DCA. Выявлены главные действующие факторы, определяющие структуру и разнообразие растительности: соотношение осадков и испарения, солевой режим почв, богатство азотом и мощность почвенного профиля.

Ключевые слова: коренной лес, тип леса, экологические шкалы, экологические факторы, Цыганов, Средний Урал, генетическая типология, лесные почвы.

ECOLOGICAL SPACE OF FOREST TYPE IN THE MOUNTAINS OF MIDDLE URALS

Ivanova N.S., Zolotova E.S.

Botanical Garden Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, 8th March Str., 202), i.n.s@bk.ru, afalinakate@gmail.com

The article provides information about the origin of ecological scales, their diversity and application, the differences between point and range scales are indicated. On the basis of the range scales of D. N. Tsyganova we estimated the ecological space of 12 types of conditionally indigenous forests of southern taiga district of Zauralsky hilly piedmont province (Middle Urals), selected on the basis of forest typology. The effects of 17 factors on the structure of vegetation were investigated. We conducted Detrended Correspondence Analysis (DCA) (we used R, package vegan), and calculated the correlation studied factors with the axes of DCA. We identified main operating factors that determine the structure and diversity of vegetation: the ratio of precipitation and evaporation, the salt regime of soil, nitrogen richness and power of the soil profile.

Keywords: indigenous forest, forest type, ecological scales, ecological factors, Tsyganov, Middle Urals, forest typology, forest soil.

Одна из сложных проблем современной экологии при изучении растительного покрова – учет и оценка роли важнейших факторов среды, влияющих на географическое распределение растительности и формирование сообществ определенного облика и флористического состава. Прямой анализ комплексных градиентов среды позволяет определить характер условий местообитаний растительных сообществ, но в большинстве случаев измерение многих факторов крайне трудоемко [31, 37]. В связи с этим большой интерес представляет оценка местообитаний по экологическим шкалам, представляющим собой таблицы с экологическими характеристиками видов.

В нашей стране еще в 50-х годах XX века были разработаны специальные таблицы для конкретных видов растений с целью их использования в лесоводстве [4] и луговодстве (Раменский и др., 1956). Аналогичные шкалы, но на основе других принципов составления, несколько позже разработали геоботаники – Р. Хундт [34], Г. Элленберг [32], Э. Ландольт

[35], Д.Н. Цыганов [30] и т.д. В целом, фитоиндикация по указанным шкалам дает схожие результаты [17, 31, 37].

Экологические шкалы имеют широкую область применения: для анализа условий произрастания и положения растительных сообществ на осях экологических факторов [6, 9, 20, 22]; для выделения экологических групп видов и ординации растительных сообществ [16, 18, 25]; для анализа динамики растительности, в том числе антропогенной [26, 29]; для прогнозирования условий местообитаний растительных сообществ и отдельных факторов среды по растительности [1, 3].

Изначально существовало коренное различие между европейскими и российскими разработками, заключающееся в формате шкал: диапазонные [23, 30] и точечные [32, 35].

В точечных экологических шкалах для каждого вида приводится одно значение (индекс) – его оптимум на градиенте фактора, вычисляемый как среднее значение из балловых оценок всех видов по этому фактору, взвешенное на обилие видов. Ступеней фактора выделяется мало. Такая форма шкал затрудняет оценку экологической амплитуды, но дает ясную картину об экологических предпочтениях растений.

В диапазонных шкалах для каждого вида приводятся амплитуды на осях факторов для различных обилий. Это информативно для определения степени эвритопности растений, но вызывает затруднения в оценке оптимальных экологических условий, так как распределение вида на осях факторов не всегда носит нормальный характер.

При использовании диапазонных шкал балльная оценка описания по фактору вычисляется одним из трех способов: 1) экстремальных границ, 2) пересечения большинства интервалов, 3) средневзвешенной середины интервала. Два первых способа используются при расчетах по шкалам Раменского [23], а третий – по шкалам Цыганова [30]. Итоговая экологическая оценка сообщества по каждому фактору определяется через диапазон балльных экологических оценок всех описаний, входящих в группу. Совокупность диапазонов экологических факторов дает оценку экологического пространства анализируемого сообщества.

В России наиболее широко используются диапазонные экологические шкалы Л.Г. Раменского [23] и Д.Н. Цыганова [30]. Использование шкал Л.Г. Раменского наиболее целесообразно при обработке геоботанических площадок небольших размеров (менее 25 м²), предпочтительно для фитоиндикации луговых сообществ. Экологические шкалы Д.Н. Цыганова содержат большее число лесных видов растений и больше экологических шкал. В связи этим их использование целесообразно для фитоиндикации лесных сообществ и удобно для расчета потенциальной флоры.

Экологические шкалы активно используются в различных исследованиях, в связи с этим разработаны комплексы программ, реализующих компьютерную обработку геоботанических описаний: EcoScale [5, 11], SPEDIV [28], а также специальные алгоритмы расчета для Excel [2] и интегрированные ботанические информационные системы IBIS, корректирующие существующие экологические шкалы [7, 8].

Многими исследователями признается актуальной коррекция существующих экологических шкал и дополнение их значениями по новым видам, создание региональных шкал, объединение отечественных и европейских традиций, т.е. определение оптимумов видов на осях основных экологических факторов [6, 14, 17, 27, 33].

Цель исследований: провести оценку экологического пространства типов леса на основе подходов генетической типологии и экологических шкал Д.Н. Цыганова, выявить главные действующие факторы, определяющие структуру и разнообразие растительности условно-коренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции.

Материал и методика

Исследования проводились в условно-коренных сосновых и еловых лесах южно-таежного округа Зауральской холмисто предгорной провинции между 57°00′–57°05′ с.ш. и 60°15′–60°25′ в.д. (Таблица 1). Район изучения – расчлененное предгорье. Абсолютные высоты 200–450 м над ур. м. [15]. Пробные площади (0.25–0.5 га) подбирались по положению в рельефе, градиенту увлажнения, согласно принципам генетической типологии Б.П. Колесникова и кадастру типов леса Свердловской области [15].

Старовозрастные леса сохранились в данном регионе на крайне незначительной площади и находятся под угрозой полного уничтожения. Исследования проведены в широком градиенте лесорастительных условий: от хорошо инсолированных склонов с мелкими каменистыми почвами и неустойчивым увлажнением (тип леса – сосняк брусничниковый) до устойчиво-сырых шлейфов пологих склонов (сосняк сфагново-хвощовый). Всего изучено 12 основных условно-коренных типов леса (табл. 1). Проведены комплексные лесгеоботанические и почвенные исследования: таксация древостоя и общие геоботанические описания, учет подроста древесных растений на лентах 4x20 м (2–4 ленты на пробную площадь), определение проективного покрытия и продуктивности видов травяно-кустарничкового яруса (10–20 площадок 1x1 м на пробную площадь) [21], заложены полнопрофильные почвенные разрезы, описана морфология [24], определены некоторые физические и химические свойства почв [19]. Подробное описание растительности и свойств почв условно-коренных типов леса региона исследований приведено ранее [10, 12, 13].

Таблица 1

Лесорастительные условия и основные условно-коренные типы леса [15]

Режим увлажнения	Положение в рельефе	Тип леса, шифр
Дренированные местообитания		
периодически сухие	вершины и верхние половины склонов возвышенностей	сосняк брусничниковый; С бр.
	вершины спокойных возвышенностей, пологие склоны, реже надпойменные террасы	сосняк ягодниковый; С яг.
	верхние части придолинных склонов и вершины невысоких холмов	сосняк ягодниково-липняковый, С яг. лп.
	придолинные склоны со щебнем горных пород	ельник-сосняк зеленомошниково-ягодниковый; Е-С зл. яг.
	средние и нижние части пологих склонов	сосняк орляковый; С орл.
	невысокие водораздельные возвышенности, реже нижние части склонов к небольшим логам	сосняк травяно-липняковый; С тр. лп.
	ровные слегка приподнятые участки водоразделов, пологие склоны	сосняк разнотравный; С ртр.
	слегка приподнятые участки ровных водоразделов и депрессий	сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый; С-Тх мш. чер.
	дренированные нижние части придолинных склонов, невысокие плоские межболотные гривы	ельник травяно-зеленомошниковый, Е тр. зм.
Слабо дренированные и заболоченные местообитания		
	дренированные шлейфы придолинных склонов	сосняк-ельник разнотравно-высокотравный, С-Е втр.
	плоские гривы среди болот и слабо дренированных междуречий, окраины болотных массивов	ельник-кедровник хвощево-мшистый, Е-К хв. мш.
устойчиво-сырые	слабо дренированные участки водоразделов, окраины болот, шлейфы пологих склонов	сосняк сфагново-хвощовый, С сф.хв.

Общие списки видов древесного и травяно-кустарничкового ярусов анализировались с помощью диапазонных экологических шкал Д.Н. Цыганова [30] и алгоритма расчета для Excel [2]. DCA-ординация старовозрастных лесов проведена на основе данных о продуктивности видов травяно-кустарничкового яруса. Продуктивность является строго количественным, свободным от субъективных оценок, комплексным показателем, результирующим влияние всех факторов среды на растительность. Для DCA-ординации мы использовали R пакет *vegan* (версия 2.15.1 (2012-06-22)) [36].

Результаты и обсуждение

С целью оценки экологического пространства 12 типов условно-коренных лесов южно-таежного округа Зауральской холмисто-предгорной провинции и выявления главных действующих факторов, определяющих структуру и разнообразие растительности условно-коренных лесов, проведен неотклоняемый анализ соответствий (DCA). В двух первых осях DCA хорошо разделяются следующие типы леса (шифры типов леса по таблице 1): Е тр.зм.,

Е-К хв.мш., С ртр., Е зм.яг., С сф.хв. В отдельную группу объединились С орл и Е-С зм.яг. В общую обособленную группу выделяются С бр., Сяг., С яг.лп., С тр.лп., С-Тх мш.чер. (Рис.1).

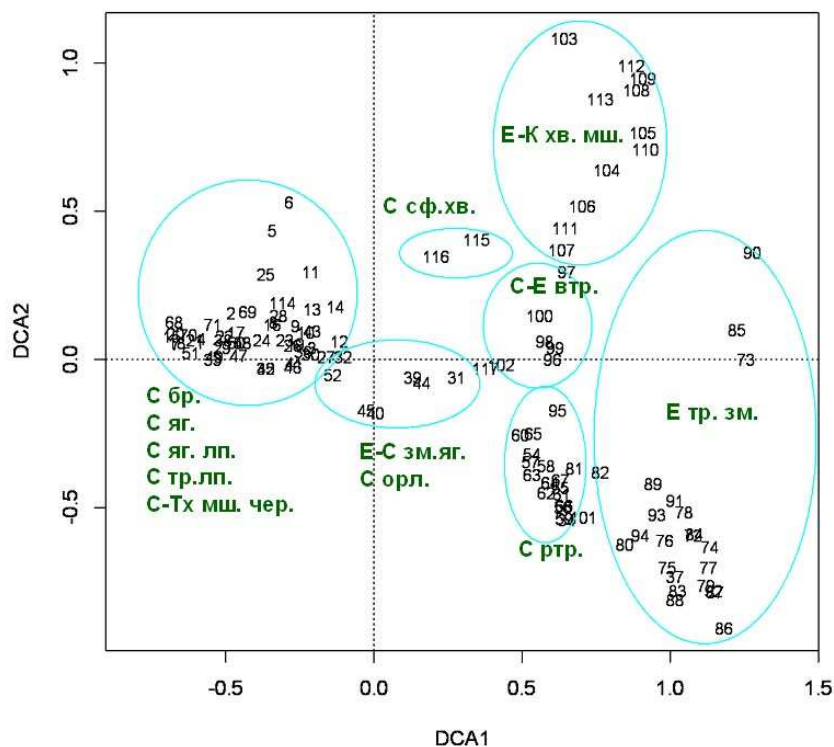


Рис.1. DCA-ординация южно-таежных условно-коренных типов леса Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала: числа – номера пробных площадей, шифр типов леса по таблице 1

Выявление главных факторов дифференциации растительности происходило на основе расчета корреляции DCA-осей и факторов среды, полученных по экологическим шкалам и экспериментально. Исследовано влияние факторов: термоклиматического (ТМ), континентальности климата (КН), омброклиматического (ОМ), криоклиматического (СР), увлажнения почв (НД), солевого режима (ТР), кислотности почв (РС), богатства почв азотом (НТ), освещенности-затенения (ЛС), переменность увлажнения почв (ФН), мощности почвенного профиля, скелетности почв, гигроскопической влажности, актуальной и потенциальной кислотности, содержания легкодоступного калия для верхнего и нижнего горизонта, эдификаторов (*Pinus sylvestris*, *Picea obovata*). Все факторы статистически значимы (на уровне 0.001), за исключением криоклиматического фактора (0.003) и скелетности верхнего горизонта (0.022). На рисунке 2 приведена ординация изученных условно-коренных типов леса в двух первых осях DCA и нанесены основные векторы действующих факторов.

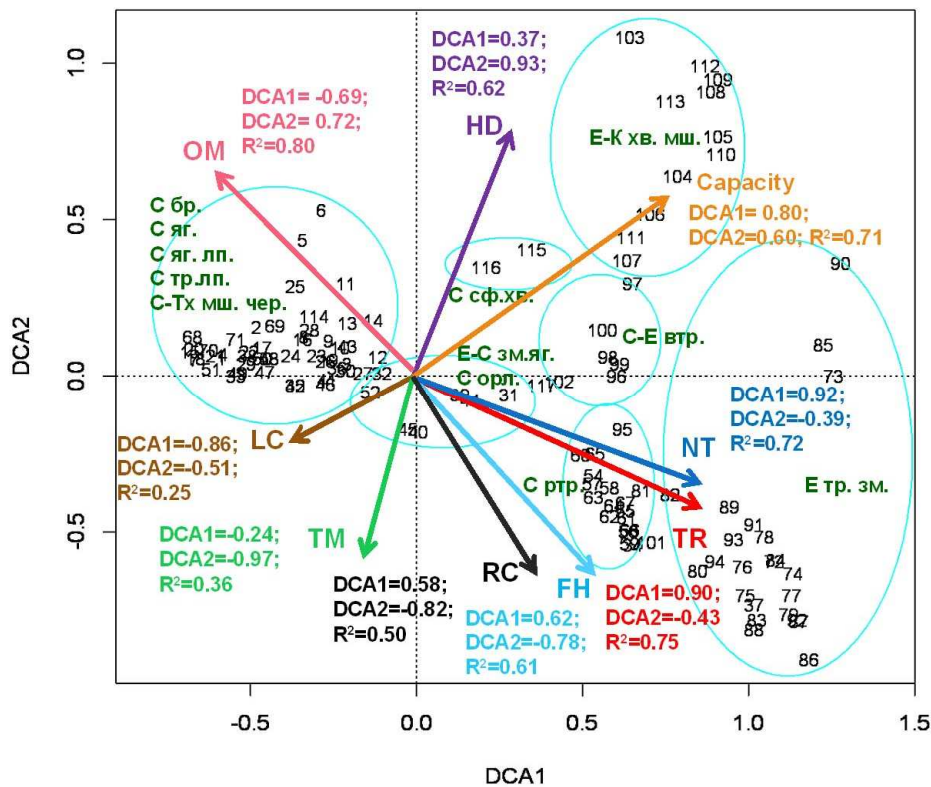


Рис.2. DCA-ординация южно-таежных условно-коренных типов леса Зауральской холмисто-предгорной провинции Среднего Урала с основными действующими факторами среды: TM – термоклиматический; OM – омброклиматический; HD – увлажнение почв; Capacity – мощность почвенного профиля; TR – трофность почв; NT – богатства почв азотом; RC – кислотность почв; LC – освещенность-затенение; FH – переменность увлажнения почв, остальные обозначения как на рисунке 1

Наиболее сильное влияние на дифференциацию растительности из рассмотренных факторов (рис. 2) оказывают омброклиматический, т.е. соотношение осадков и испарения (связь с первой осью DCA = -0.69; со второй = 0.72; $R^2=0.80$), трофность почв или солевой режим (связь с первой осью DCA = 0.90; со второй = -0.43; $R^2=0.75$), богатство почв азотом (связь с первой осью DCA = 0.74; со второй = -0.67; $R^2=0.68$), мощность почвенного профиля (связь с первой осью DCA = 0.80; со второй = 0.60; $R^2=0.71$).

Более подробно рассмотрим эдафические факторы. По увлажнению изученные типы условно-коренных лесов варьируют от 12.5 до 14.2 баллов, фактор более тесно связан со второй осью DCA (Рис. 2). По трофности и богатству почв азотом наблюдается обратная ситуация (тесно связаны с первой осью DCA). Солевой режим почв лесов изменяется в диапазоне от 4.7 баллов (сосняк брусничниковый, сосняк с темнохвойным ярусом мшисто-черничниковый) до 5.8 баллов (сосняк разнотравный и ельник травяно-зеленомошниковый), что соответствует небогатым и довольно богатым почвам. Наименьшее содержание азота отмечено для почв сосняка ягодникового (4.3 балла), наибольшее – для ельника травяно-зеленомошникового и сосняка ельника высокотравного (5.4 балла).

Содержание легкодоступного калия (согласно проведенному анализу) оказывает незначительное влияние на лесную растительность. Для верхнего горизонта – связь с первой осью DCA = -0.88; со второй = 0.47; $R^2=0.25$.

Кислотность почв имеет существенное влияние на лесную растительность, фактор более тесно связан со второй осью DCA (Рис. 3). Вектор RC, полученный по шкалам Д.Н. Цыганова, лежит между векторами актуальной кислотности верхнего и нижнего горизонта почв лесов (Рис. 3). Рисунок изолиний несложный и показывает увеличение баллов кислотности от 5.1 до 6.8, что соответствует рН от 4.5 до 6.5.

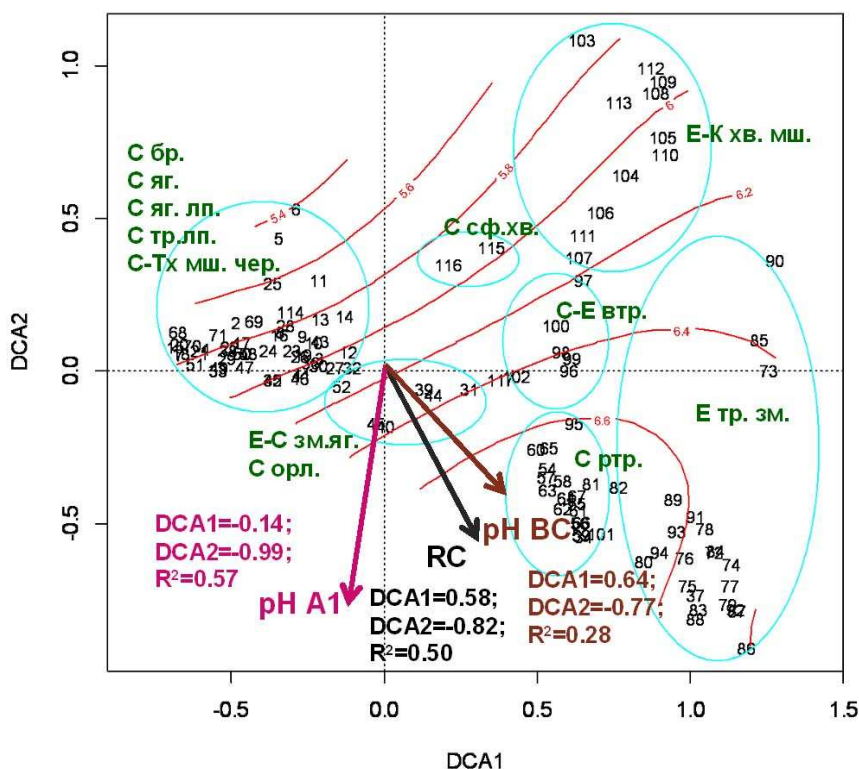


Рис.3. Влияние фактора кислотности на структуру растительности условно-коренных типов леса Зауральской холмисто-предгорной провинции: красным – изолинии; RC – фактор кислотности по шкале Д.Н. Цыганова, рН А1 и рН ВС – актуальная кислотность верхнего и нижнего горизонта почв, остальные обозначения как на рисунке 1

Интересно рассмотреть фактор освещенности-затенения (LC) (Рис. 4). Он тесно связан с двумя первыми осями DCA (более сильно с первой осью), но по результатам анализа имеет низкий коэффициент детерминации ($R^2=0.25$). Рисунок изолиний сложный, а вектор фактора LC полностью не отражает характер взаимосвязей. При введении в анализ основных эдификаторов (использована доля древесного вида в составе древостоя): *Pinus sylvestris* и *Picea obovata*, хорошо прослеживается положительная связь фактора освещенности с сосной и отрицательная с елью. Из этого следует, что эдификаторы оказывают сильное влияние на

дифференциацию растительности, а фактор LC опосредованно отражает влияние эдификатора на видовое разнообразие подпологовой растительности.

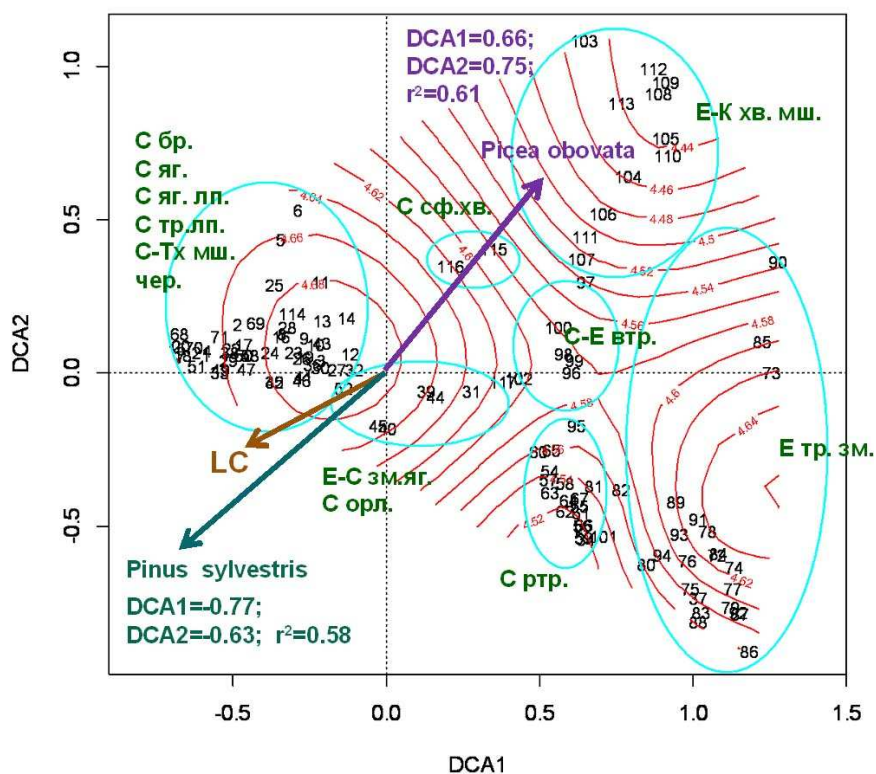


Рис. 4. Влияние фактора освещенности-затенения (LC) на структуру растительности условно-коренных типов леса Зауральской холмисто-предгорной провинции: красным – изолинии; *Pinus sylvestris* и *Picea obovata* – векторы эдификаторов, остальные обозначения как на рисунке 1

Заключение

На основе диапазонных шкал Д.Н. Цыганова оценено экологическое пространство 12 типов условно-коренных лесов южно-таежного округа Зауральской холмисто-предгорной провинции, выделенных на основе генетической лесной типологии. Исследовано влияние 17 факторов на структуру растительности. Проведен неотклоняемый анализ соответствий (DCA), рассчитаны корреляции изученных факторов с осями DCA. Результаты представлены в наглядной форме в виде ординационной диаграммы с нанесением векторов основных действующих факторов и их изолиний. На ординационной диаграмме хорошо разделяются ельники травяно-зеленомошниковый и зеленомошниково-ягодниковый, ельник-кедровник хвощево-мшистый, сосняк разнотравный и сфагново-хвощевый.

Выявлено, что главными действующими факторами, определяющими структуру и разнообразие растительности условно-коренных лесов, являются соотношение осадков и испарения, солевой режим почв, богатство азотом и мощность почвенного профиля. Важную роль играют увлажнение и эдификатор. Установлено, что фактор освещенности (LC) опосредованно отражает влияние эдификатора на видовое разнообразие подпологовой растительности.

В связи с возрастающей угрозой полного уничтожения большинства условно-коренных типов леса Среднего Урала и необходимостью сохранения их биоразнообразия полученные результаты имеют огромное значение для прогнозирования влияний изменения климата и антропогенных факторов на лесную растительность и для моделирования экологических ниш видов с учетом межвидовых взаимосвязей в типах леса.

Список литературы

1. Бармин А.Н., Иолин М.М., Шарова И.С., Старичкова К.А., Сорокин А.Н., Николайчук Л.Ф., Голуб В.Б. Использование шкал Л.Г. Раменского и DCA-ординации для индикации изменений условий среды в Волго-Ахтубинской пойме // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2010. – Т. 11, № 1(4). – С. 577-582.
2. Бузук Г.Н., Созинов О.В. Регрессионный анализ в фитоиндикации (на примере экологических шкал Д.Н. Цыганова). – Ботаника. – Вып. 37. – Минск: Право и экономика, 2009. – С. 356-362.
3. Булохов А.Д. Фитоиндикация и ее практическое применение. – Брянск, 2004. – 245 с.
4. Воробьев Д.П. Типы лесов Европейской части СССР. – Киев: Изд-во АН УССР, 1953. – 450 с.
5. Грохлина Т.И., Ханина Л.Г. ECOSCALE – программа обработки геоботанических описаний по экологическим шкалам // Тезисы XIII международной конференции «Математика, компьютер, образование», Дубна, 2006. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – С. 52.
6. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. – Київ, 1994. – 280 с.
7. Зверев А.А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: учебное пособие. – Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. – 304 с.
8. Зверев А.А. Фитоиндикационный анализ: компьютерный подход // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – Барнаул: РПИК «АРТИКА», 2009. – С. 344-347.
9. Зверев А.А., Бабешина Л.Г. Оценка условий местообитаний сфагновых мхов Западно-сибирской равнины по ведущим экологическим факторам: объекты, материалы и методические основы // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 325. – С. 167-173.
10. Золотова Е.С. Лесотипологические особенности растительности и почв Зауральской холмисто-предгорной провинции: дис. ... канд. биол. наук: 06.03.02 / Золотова Екатерина Сергеевна. – Екатеринбург, 2013. – 208 с.

11. Зубкова Е.В. Ханина Л.Г., Грохлина Т.И., Дорогова Ю.А. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScaleWin: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2008. – 96 с.
12. Иванова Н.С., Золотова Е.С. Факторы типологического и видового разнообразия лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции // *Фундаментальные исследования*. – 2011, № 12. – С. 275-280.
13. Иванова Н.С., Золотова Е.С. Биоразнообразие условно-коренных лесов Зауральской холмисто-предгорной провинции // *Современные проблемы науки и образования: электронный науч. журн.* – 2013. – № 1. URL: <http://www.science-education.ru/107-8563> (дата обращения 6.04.2015).
14. Ильминских Н.Г. Флорогенез в условиях урбанизированной среды (на примере городов Вятско-Камского края): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – СПб., 1993. – 35 с.
15. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Практическое руководство. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.
16. Комарова Т.А., Прохоренко Н.Б. Региональные экологические шкалы и использование их при классификации лесов полуострова Муравьев-Амурский // *Ботан. журн.* 2001. – Т. 86, № 7. – С. 101–114.
17. Королюк А.Ю. Использование экологических шкал в геоботанических исследованиях // *Актуальные проблемы геоботаники. Лекции*. – Петрозаводск, 2007. – С. 177-197.
18. Королюк А.Ю., Троева Е.И., Черосов М.М. и др. Экологическая оценка флоры и растительности Центральной Якутии. – Якутск, 2005. – 108 с.
19. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учеб. пособие. – СПб.: Проспект Науки, 2009. – 320 с.
20. Лапшина Е.И., Намзалов Б.Б., Королюк А.Ю. Фитоэкологическое картографирование // *Экологическое картографирование Сибири*. – Новосибирск, 1996. – С. 136–149.
21. Методы изучения лесных сообществ. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
22. Миркин Б.М., Мартыненко В.Б., Широких П.С., Наумова Л.Г. Анализ факторов, определяющих видовое богатство сообществ лесов Южного Урала // *Журнал общей биологии*. – 2010. – Т. 71, № 2. – С. 131-143.
23. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 472 с.
24. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Академ. проект, 2004. – 432 с.
25. Сабуров Д.Н. Опыт классификации луговой растительности Центральной России по экологическим группам видов // *Бюлл. МОИП. Отд. биол.* 1984. – Т. 89. – Вып. 1. – С. 72–82.

26. Селедец В.П. Антропогенная динамика растительного покрова российского Дальнего Востока. – Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 2000а. – 148с.
27. Селедец В.П. Метод экологических шкал в ботанических исследованиях на Дальнем Востоке России. – Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ, 2000б. – 248с.
28. Смирнов В.Э. SPEDIV – программа для анализа разнообразия растительности // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: сборник материалов Всероссийской научной конференции. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2006. – С. 142-143.
29. Ткаченко В.С. К познанию механизма становления потенциальных фитоцено-структур хомутовской степи // Вопросы степеведения. – Оренбург, 2000. – С. 82–92.
30. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М.: Наука, 1983. – 196 с.
31. Широких П.С. Сравнение эффективности оценок экологических условий лесов южно-уральского региона при использовании различных экологических шкал // Аграрная Россия. – 2009, № 1а. – С. 72-73.
32. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. – Gottingen, 1974. – 97 S.
33. Hill M.O., Roy D.B., Mountford J.O., Bunce R.G.H. Extending Ellenberg's indicator values to a new area: an algorithmic approach // Journal of Applied Ecology. 2000. Vol. 37. – pp. 3–15.
34. Hundt R. Ökologisch-geobotanische Untersuchungen an Pflanzen der mitteleuropäischen Wies envegetation // Botanische Studien. – 1966. – №16. – VEB G. Fischer Verlag, Jena. – S. 1–176.
35. Landolt E. Okologische Zeigerwerts zur Sweizer Flora // Veroff. Geobot. Inst. ETH. – Zurich, 1977. – H. 64. – S. 1–208.
36. Oksanen, J. Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: Vegan Tutorial. – 2013. <http://vegan.r-forge.r-project.org/>
37. Shirokikh P.S., Martynenko V.B. Comparison of different ecological scales with respect to efficiency in assessing ecological conditions in forests of the Southern Ural Region // Russian Journal of Ecology. – 2009. – Vol. 40, № 7. – pp. 457–465.

Рецензенты:

Мартыненко В.Б., д.б.н., зав. лабораторией геоботаники и охраны растительности ИБ УНЦ РАН, г. Уфа;

Петрова И.В., д.б.н., зав. лабораторией Популяционной биологии древесных растений и динамики леса Ботанического сада УрО РАН, г. Екатеринбург.