

Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Глухова Е.М. Развитие системы эколого-ценотических групп видов сосудистых растений для северной и средней тайги Европейской России на основе многомерных статистических методов // А.В. Славгородский (ред.). Гидрофильный компонент в науке о растительности. Воронеж: Воронежский гос. ун-т. 2006. С. 57–67.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИХ ГРУПП ВИДОВ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СЕВЕРНОЙ И СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Смирнов В.Э.¹, Ханина Л.Г.¹, Бобровский М.В.², Глухова Е.М.¹

¹Институт математических проблем биологии РАН, vsmirnov@issp.serpukhov.su

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

Эколого-ценотические группы (ЭЦГ) – понятие, широко используемое в современной науке о растительности. В данной работе под ЭЦГ, вслед за А.А. Ниценко (1969), будем понимать группы видов растений, сходных по отношению к совокупности экологических факторов и приуроченных к сообществам того или иного типа.

В работах (Смирнов и др., 2004, 2006) нами был предложен оригинальный алгоритм уточнения экспертного разделения видов на ЭЦГ по результатам многомерного дискриминантного анализа экологических и ценотических свойств видов, образующих группы. С помощью разработанного алгоритма была уточнена принадлежность 973 видов к 7-ми базовым ЭЦГ, выделенных О.В. Смирновой совместно с Л.Б. Заугольной и О.И. Евстигнеевым на основе групп А.А. Ниценко (1969) и исторических свит Г.М. Зозулина (1970, 1973). Рассматривались следующие семь групп: 1) бореальная, включающая виды еловых и елово-пихтовых лесов; 2) неморальная, включающая виды широколиственных лесов и дубрав; 3) нитрофильная, включающая виды черноольшаников; 4) боровая, образованная видами сосновых лесов; 5) лугово-опушечная, включающая виды лугов, степей и лесных опушек; 6) водно-болотная, образованная видами прибрежно-водных и внутриводных местообитаний, низинных болот; 7) олиготрофная, образованная растениями верховых (олиготрофных) болот. Проведенный анализ позволил уточнить принадлежность к этим семи ЭЦГ 973 вида растений, различить «ядерные» виды, образующие ядра групп (62%), и «промежуточные» виды, занимающие промежуточное положение между группами по своим экологическим и ценотическим свойствам (38%). Семь базовых ЭЦГ хорошо различались между собой по свойствам входящих в них видов, наибольшие вклады в разделение видов на ЭЦГ вносили факторы увлажнения почвы и освещенности.

Использование ЭЦГ показало, что семь групп оказываются, как правило, достаточными при оценке разнообразия и моделировании динамики растительных сообществ Центральной России (см., например, Оценка..., 2000, Бобровский, Ханина, 2004, Ханина и др., 2006). Однако, при анализе лесной растительности как более северных, так и более южных территорий требуются более детальные ЭЦГ видов. Целью настоящего исследования было развитие системы ЭЦГ видов сосудистых растений для северной и средней тайги Европейской России. В качестве методов мы использовали многомерные методы анализа данных – дискриминантный анализ, неметрическое многомерное шкалирование, классификационные деревья.

Методы

Для развития системы ЭЦГ видов растений, анализа и уточнения состава групп мы использовали информацию об экологических и ценотических свойствах видов. В качестве экологических свойств видов анализировали балльные оценки видов по шести факторам, взятым из таблиц Г. Элленберга (Ellenberg, 1996) – факторам увлажнения почвы, кислотности, обеспеченности почвы азотом, освещенности, температурного режима и

континентальности климата. В качестве ценотических характеристик видов брали координаты видов в ординационном пространстве геоботанических описаний. Ординация проводилась методом неметрического многомерного шкалирования (Non-metric Multidimensional Scaling, NMS). Координаты видов рассчитывались взвешенным усреднением координат описаний.

Основным статистическим методом описания состава ЭЦГ, как и в работах (Смирнов и др., 2004, 2006) был выбран многомерный дискриминантный анализ (далее ДА). Правильно классифицированными считали виды, у которых наибольшие вероятности наблюдались у тех групп, к которым их отнес эксперт. Подробно методика проверки и уточнения состава ЭЦГ с помощью ДА изложена в статье Смирнова и др., 2006. Здесь отметим лишь ее принципиальные особенности.

1. Методика основана на экспертно-статистическом подходе, когда первоначальная эколого-ценотическая классификация дается экспертами, а затем она проверяется и уточняется статистическими методами. В процессе верификации существует возможность коррекции видовых ЭЦГ экспертами на каждом шаге работы алгоритма.

2. Выбор ДА в качестве основного статистического метода обосновывается двумя причинами. Во-первых, возможностью его использования в качестве описательного метода, без проверки статистических гипотез, что отчасти сглаживает жесткость требований, предъявляемых ДА к входным данным. Во-вторых, алгоритм ДА устроен таким образом, что позволяет легко отслеживать результаты работы алгоритма на каждом шаге, понимать, в частности, почему по результатам ДА вид попадает в ту или иную группу и вносить необходимые коррективы. Это свойство ДА важно именно при экспертно-статистическом подходе к анализу данных.

3. Набор видов, для которых проводится анализ, определяется массивом геоботанических описаний. Координаты видов в ординационном пространстве дополняют информацию из экологических шкал некоторой интегральной характеристикой положения вида в ценотическом пространстве. Безусловно, характеристики видов из шкал и координаты видовой ординации не являются независимыми переменными, т.е. нельзя сказать, что они характеризуют принципиально разные видовые свойства. Обилие / присутствие видов в описаниях, по которым осуществляется ординация, зависит от всего набора средовых факторов, как биотических, так и абиотических. В связи с этим очевидно, что существует определенное перекрытие свойств видов, формализованных в экологических шкалах и представленных ординационными координатами, а разделение анализируемых характеристик видов на экологические и ценотические является в некоторой степени условным.

4. В методике учтена проблема неполноты экологических шкал. Известно, что информация в шкалах представлена не только не для всех видов, но зачастую и для имеющихся видов не по всем средовым характеристикам. Проведение же ДА возможно только при наличии информации по всем анализируемым переменным. В связи с этим, ДА проводился не только по максимальному набору переменных, состоящему из координат видов и шести экологических характеристик, но и по всем вариантам сочетаний экологических характеристик видов. Для уточнения принадлежности вида к ЭЦГ сводили вместе результаты всех существующих для него вариантов ДА - от максимального до минимального набора переменных. При этом, если при максимальном существующем для вида наборе переменных вид являлся правильно классифицированным, то вид далее не анализировался. Если вид при максимальном существующем для него наборе переменных являлся неправильно классифицированным, то он анализировался далее - экспертно пересматривалась вся существующая информация по виду, включая результаты всех вариантов ДА. Таким образом, процесс уточнения является не только интерактивным, но и итеративным - после повторного экспертного рассмотрения видов и уточнения состава ЭЦГ вся процедура с полным набором видов запускается вновь.

Помимо ДА, в настоящей работе были использованы так называемые деревья решений (Decision Trees), или классификационные деревья. Это набор методов, составляющий важную часть современного и бурно развивающегося подхода к анализу данных, который известен в западной литературе как Data Mining (букв. – добыча данных). Визуальный анализ деревьев дает быструю оценку качества классификации и облегчает интерпретацию основных результатов – позволяет оценить, например, важность переменных в анализе вообще и для конкретных групп в частности, положение различных ЭЦГ в пространстве анализируемых переменных и т.п. В настоящей работе нами был выбран алгоритм C4.5, основанный на методе построения деревьев решений, впервые предложенный Куинленом (Quinlan, 1993), и реализованный во многих пакетах, посвященных Data Mining. Мы использовали свободно распространяемый пакет Weka версии 3.5.1 (Witten, Frank, 2005), где алгоритм C4.5 представлен под внутренним обозначением J48.

В качестве экспертно выделенных ЭЦГ для северной и средней тайги Европейской России нами были взяты группы видов, предложенные Л.Б. Заугольной (Заугольнова и др., в печати) и учитывающие для бореальных видов, помимо экологических свойств и ценотической приуроченности, жизненные формы видов. По северной тайге анализировали семь групп: 1) бореальные кустарнички и вечнозеленые травы (Br_k), 2) бореальное мелкотравье (Br_m), 3) бореальное высокотравье (H), 4) боровая (Pn), 5) неморальная (Nm), 6) гигрофильная (G) и 7) олиготрофная (Olg) группы. Для средней тайги анализировали девять групп – к группам северной тайги была добавлена лугово-опушечная группа (Md) (которая не анализировалась по северной тайге, ввиду слабой представленности в описаниях видов этой группы), а гигрофильная группа была разделена на нитрофильную (Nt) и прибрежно-водную (Wt). Деревья и кустарники, а также тундро-арктические виды не анализировались.

Набор видов, для которых проводился анализ, задавался массивами геоботанических описаний соответствующих природных зон. Мы использовали все доступные нам на момент анализа геоботанические данные - 591 описание северной тайги (259 анализируемых видов) и 844 описания средней тайги (394 анализируемых вида). Основные сведения о массивах описаний представлены в таблице.

Таблица

Сведения о геоботанических описаниях, по которым были рассчитаны координаты видов в ординационном пространстве

Место проведения геоботанического исследования		Авторы геоботанических описаний и/или литературный источник	Число описаний
административное положение	наименование ООПТ/лесхоза или географическая привязка		
<i>Северная тайга</i>			
Мурманская обл.	Хибины, Монче-тундра	(Аврорин и др., 1936) (Боброва, Качурин, 1936)	40
Мурманская обл.	Заповедник «Лапландский»	Л.Г. Исаева, В.А. Костина, В.Ю. Нешатаев, В.Ю. Нешатаева, (Нешатаев, Нешатаева, 2002)	30
Мурманская обл.	Заповедник «Кандалакшский»	Л.Г. Исаева, В.А. Костина	5
Республика Карелия	Заповедник «Костомукшский», лесхоз Пяозерский	В.Н. Коротков, О.В. Смирнова (Смирнова, Коротков, 2001) (Смирнова и др., 2006)	238
Архангельская обл.	Бассейн р. Печоры (северная часть)	(Самбук, 1932)	84
Архангельская обл.	Заповедник «Пинежский»	(Сабуров, 1972)	47
Республика Коми	Южный Тиман	(Дылис, 1938)	31

Республика Коми	Печоро-Илычский заповедник, северная часть	(Корчагин, 1940)	97
	Бассейн р. Полуи	(Лесков, 1938)	19
<i>Средняя тайга</i>			
Республика Коми	Лесхозы Ухтинский, Усть-Немский, Удорский, Прилузский, Койгородский	О.В. Смирнова, Н.В. Захарова, П.В. Потапов, Е.И. Киричок (Смирнова и др., 2006)	276
Республика Коми	Заповедник «Печоро-Илычский»	О.В. Смирнова, В.Н. Коротков, Е.А. Черненкова (Смирнова и др., 2006)	124
Республика Коми		(Дегтева, 2001)	135
Республика Коми	Юго-восточная часть бассейна р. Вычегды	(Колесников, 1985)	76
Республика Коми*		Н.В. Дылис, Ю.П. Юдин, А.А. Дедов, А.Н. Лащенкова, Н.И. Непомилуева, Л.В. Тетерюк	106
Пермская обл.	Заповедник «Басеги»	О.В. Смирнова, Е.Ю. Бакун, Е.А. Черненкова	84
Пермская обл.	Заповедник «Вишерский»	О.В. Смирнова, М.В. Бобровский (Смирнова и др., 2006)	43

* районы Койгородский, Сыктывдинский, Ухтинский, Княжпогостский, Корткеросский, Усть-Куломский, Троицко-Печорский, Вуктыльский, Усть-Целемский, Интинский, Печорский, Сосногорский, Летский

Результаты и обсуждение

При проведении ординации массивов описаний (Рис. 1) оптимальная размерность, согласно оценке алгоритма NMS, составила две оси – т.е., для воспроизведения основного варьирования данных как по северной тайге, так и по средней тайге было достаточно двух осей.

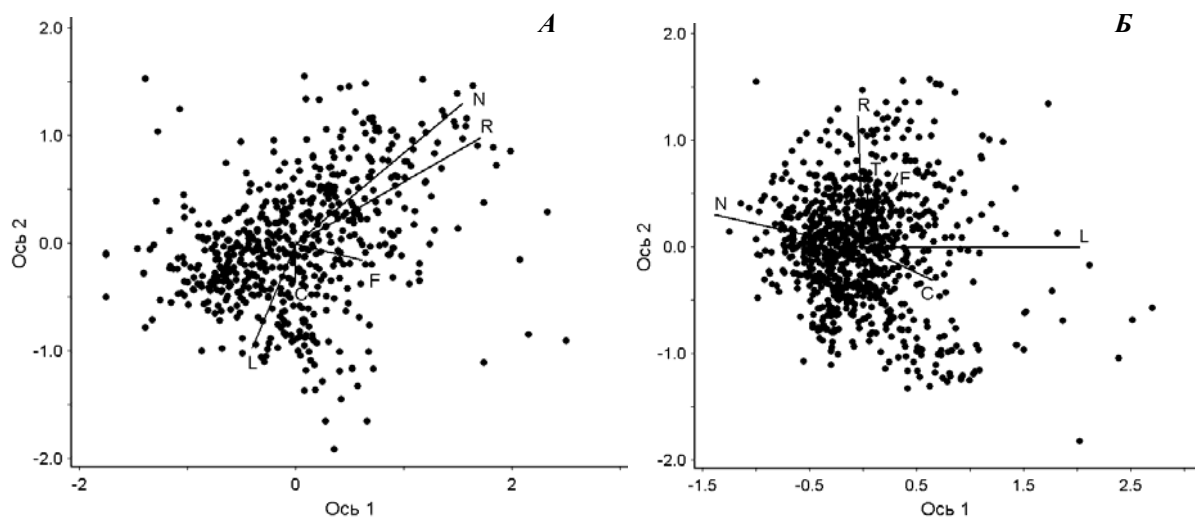


Рис. 1. Результаты ординации геоботанических описаний методом неметрического многомерного шкалирования. *A* – северная тайга, *B* – средняя тайга. На диаграммах приведены векторы экологических факторов, рассчитанные по шкалам Элленберга: F – увлажнение почвы, L – освещенность, N – богатство почвы азотом, R – кислотность почвы, T – температурный режим, C – континентальность климата.

Для видов *северной тайги*, согласно всем статистикам ДА, все экологические факторы, кроме континентальности климата, вносили значимый вклад в разделение видов на семь анализируемых групп, значимым фактором были также координаты видов по второй оси ординации. Факторы увлажнения почвы и освещенности лидировали среди остальных с

небольшим опережением. Процент правильно классифицированных видов по результатам ДА, проведенного по всем значимым переменным, составил 81.

На рис. 2-4 для групп северной тайги проиллюстрировано, соответственно, расположение видов анализируемых групп: а) в первых трех осях ДА (выполненного по всем значимым переменным – всем средовым характеристикам, кроме континентальности климата, и координатам видов по второй оси NMS), б) в ценотическом пространстве (первые две оси NMS) и в) в осях основных экологических факторов - увлажнение почвы, освещенность, температурный режим и обеспеченность почвы азотом. Хорошо видно, что анализируемые группы видов достаточно хорошо различаются между собой по своим экологическим и ценотическим свойствам. В первых двух осях ДА (Рис. 2, А) хорошо различаются между собой все группы, кроме пар групп Br_k - Br_m и H-G. Группы первой пары хорошо различимы при этом по третьей оси ДА (Рис. 2, Б), и только группы бореального высокоотравья (Н) и гигрофильная (G) далеко не расходятся между собой, хотя при этом они достаточно хорошо различаются по фактору обеспеченности почвы азотом (Рис. 4, Б).

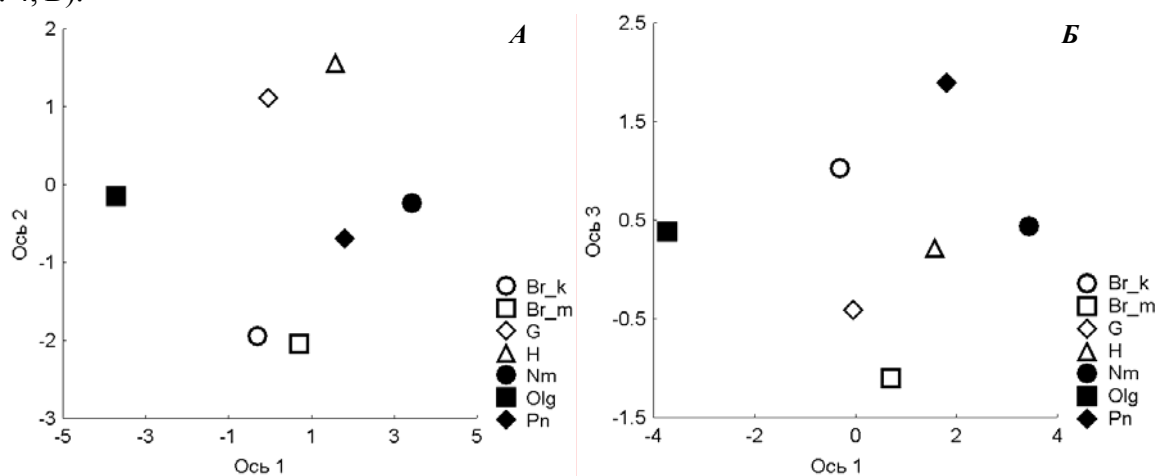


Рис. 2. Положение центроидов семи ЭЦГ северной тайги в осях дискриминантного анализа. А - в первой и второй, Б - в первой и третьей дискриминантных осях. Первые три оси ДА воспроизводят 96% варьирования данных. Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

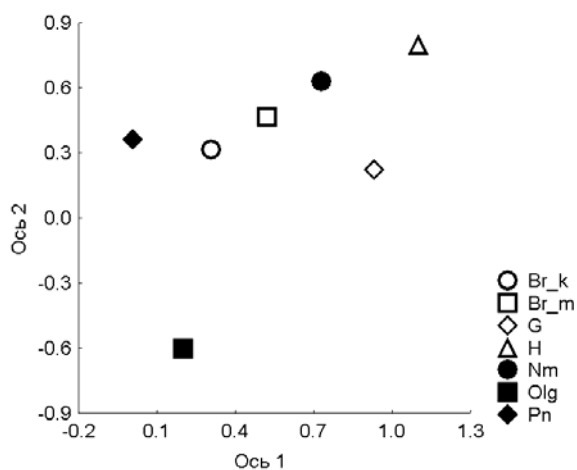


Рис. 3. Положение центроидов семи ЭЦГ северной тайги в ординационном пространстве. Центроиды рассчитаны на основе ординации описаний, см. рис. 1 А. Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

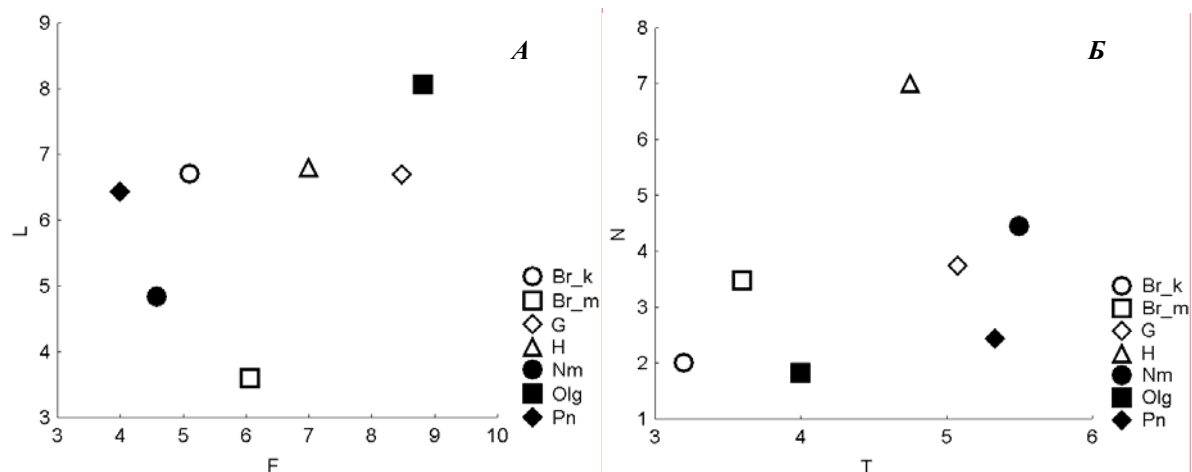


Рис. 4. Средние значения экологических факторов для видов семи ЭЦГ северной тайги, рассчитанные по шкалам Элленберга. А - увлажнение почвы (F) и освещенность (L), Б - температурный режим (T) и обеспеченность почвы азотом (N). Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

Процесс принятия решений по разделению видов северной тайги на предложенные группы проиллюстрирован классификационным деревом на Рис. 5 (приведены результаты классификации, проведенной только по экологическим факторам, за исключением континентальности климата, и только для 88 видов, имеющих значения по всем этим факторам). Все анализируемые виды на верхнем уровне разделились по увлажнению почвы (F) на две группы – на виды, обитающие на сухих, свежих и влажных почвах ($F \leq 7$) и на виды, обитающие на сырых, часто затопляемых почвах и в воде ($F > 7$). Далее по фактору температурного режима (T) виды более сухих местообитаний (левая ветвь дерева) разделились, с одной стороны, на растения холодного и прохладного климата ($T \leq 4$), тем самым выделилась группа бореального мелкотравья (Br_m), и с другой стороны, на растения умеренно теплого климата ($T > 4$), которые далее разделились по фактору освещенности (L) на виды неморальной группы (Nm) – теневые и полутеневые растения, и виды боровой группы (Pn) – полутеневые/полусветовые растения. Правая ветвь дерева (виды более мокрых местообитаний) разделились по фактору кислотности почв (R) на виды кислых и очень кислых почв ($R \leq 4$), которые далее по свету (L) разделились на теневые, полутеневые/полусветовые растения, которые вошли в группу гигрофильных видов (G), и световые растения ($L > 7$), которые образовали группу олиготрофных видов (Olg). Растения на слабокислых, нейтральных и щелочных почвах ($R > 4$) разделились по фактору увлажнения почвы (F) на собственно гигрофильную группу (G) - растения сырых, часто затопляемых почв и водные растения, и группу бореального высокотравья (H). Заметим, что последняя не классифицируется успешно – в построенном дереве группа H представлена только видами, имеющими характеристику по шкале F, строго равную 8. Остальные виды этой группы при построении дерева были отнесены к другим ЭЦГ, что свидетельствует о неоднородности экологических характеристик видов данной группы. Группа бореальных кустарничков и вечнозеленых трав (Br_k) отсутствует на Рис. 5, т.к. она проявилась на более глубоком уровне классификации. Это обстоятельство объясняется малым числом видов в группе Br_k, имеющих значения по всем экологическим шкалам (4 вида - минимальное среди прочих групп).

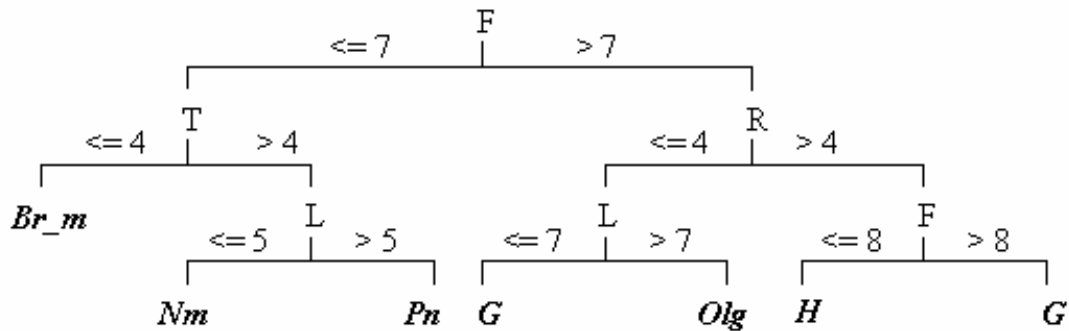


Рис. 5. Классификационное дерево (усеченное) для видов северной тайги. F - увлажнение почвы, L - освещенность, R - кислотность почвы, T – температурный режим. Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

При разделении видов *средней тайги* на девять предложенных групп значимыми оказались все экологические факторы, кроме обеспеченности почвы азотом, а также две оси ординации. Факторы увлажнения почв и освещенности лидировали здесь с существенным опережением. Процент правильно классифицированных видов по результатам ДА, проведенного по всем значимым переменным, составил 70.

Взаимное расположение видов девяти анализируемых групп средней тайги в осях ДА, NMS и в осях основных экологических факторов (увлажнение почвы, освещенность, температурный режим и обеспеченность почвы азотом) проиллюстрировано на рис. 6-8. В целом анализируемые группы хорошо различаются между собой по свойствам входящих в них видов. В первых двух осях ДА (Рис. 6, А) хорошо различаются между собой все группы, кроме двух связок Md - Br_m – Pn и Nt – H – Wt. Группы первой связки хорошо различаются между собой по третьей оси ДА (Рис. 6, Б), а со второй связкой ситуация иная. Группа Nt вполне хорошо отличима от групп H и Wt, однако сами группы H и Wt, аналогично группам H и G в северной тайге, плохо различаются между собой. Как и группы H и G в северной тайге, группы H и Wt в средней тайге хорошо различаются по фактору обеспеченности почвы азотом (Рис. 8, Б), но этот фактор не является для средней тайги значимым (при проведении ДА с учетом всех средовых характеристик и координат видов). Это обстоятельство отражается в низком проценте правильно классифицированных видов в группе бореального высокоотравья – 27 при среднем проценте 75 среди остальных групп.

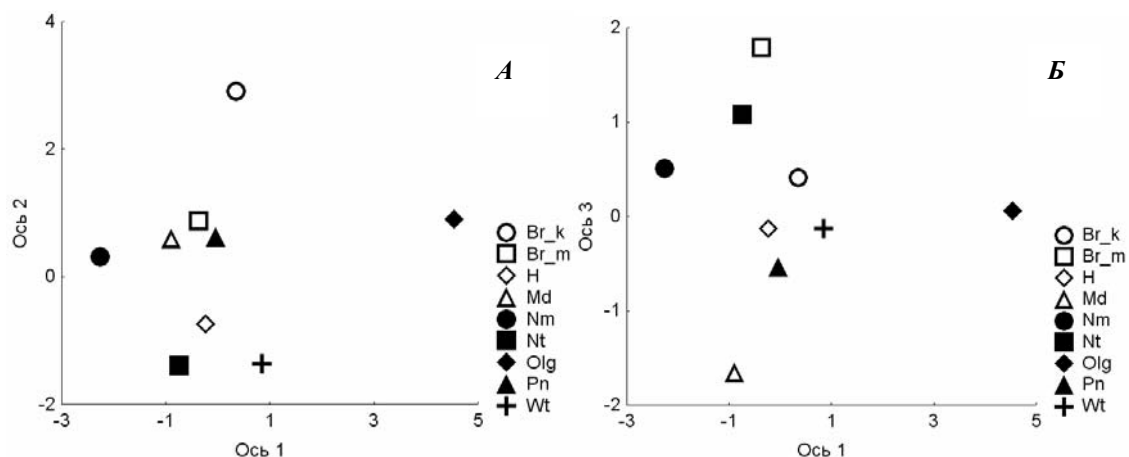


Рис. 6. Положение центровидов девяти ЭЦГ средней тайги в осях дискриминантного анализа. А - в первой и второй, Б - в первой и третьей дискриминантных осях. Первые три оси ДА воспроизводят 95% варьирования данных. Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

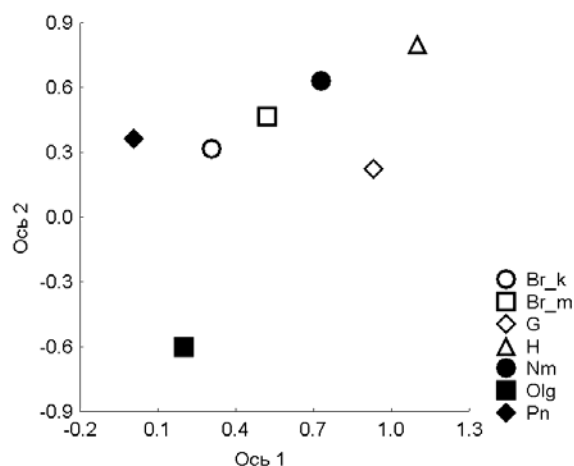


Рис. 7. Положение центроидов девяти ЭЦГ средней тайги в ординационном пространстве. Центроиды рассчитаны на основе ординации описаний, см. рис. 1 Б. Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

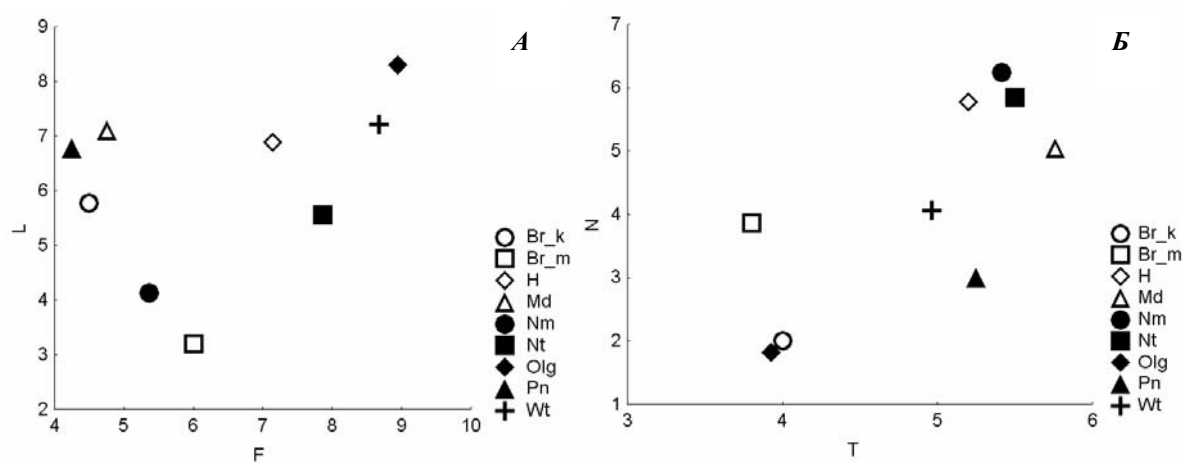


Рис. 8. Средние значения экологических факторов для видов девяти ЭЦГ средней тайги, рассчитанные по шкалам Элленберга. А - увлажнение почвы (F) и освещенность (L), Б - температурный режим (Т) и обеспеченность почвы азотом (N). Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

Согласно методу классификационных деревьев, при анализе 133 видов, имеющих значения по всем экологическим шкалам, лидирующим фактором при разделении видов средней тайги на девять ЭЦГ выступил свет (L) (Рис. 9). Полностью теневые, теневые и полутеневые растения ($L \leq 5$) разделились далее по фактору температурного режима на растения холодного и прохладного климата ($T \leq 4$) – они составили группу бореального мелкотравья (Br_m), и на растения умеренно теплого и теплого климата ($T > 4$). Последние далее разделились по фактору увлажнения почв на неморальные ($F \leq 6$) и нитрофильные ($F > 6$). Правая часть дерева – полусветовые и световые растения ($L > 5$) разделились по фактору кислотности почв на растения очень кислых и кислых почв ($R \leq 4$) – группы бореальных кустарничков и вечнозеленых трав (Br_k), боровая (Pn) и олиготрофная (Olg), и на растения слабокислых и нейтральных почв ($R > 4$) - группы лугово-опушечных видов (Md), бореального высокотравья (H) и прибрежно-водных видов (Wt). При этом группа Olg отделилась от групп Br_k и Pn по фактору увлажнения ($F > 6$), а группы Br_k и Pn разделились между собой по температурному режиму – на растения холодного и прохладного климата – Br_k ($T \leq 4$) и на растения умеренно-теплого и теплого климата – Pn ($T > 4$). Группы Md, H и Wt разделились между собой по фактору увлажнения ($F \leq 5$, $5 < F \leq 8$ и $F > 8$ соответственно).

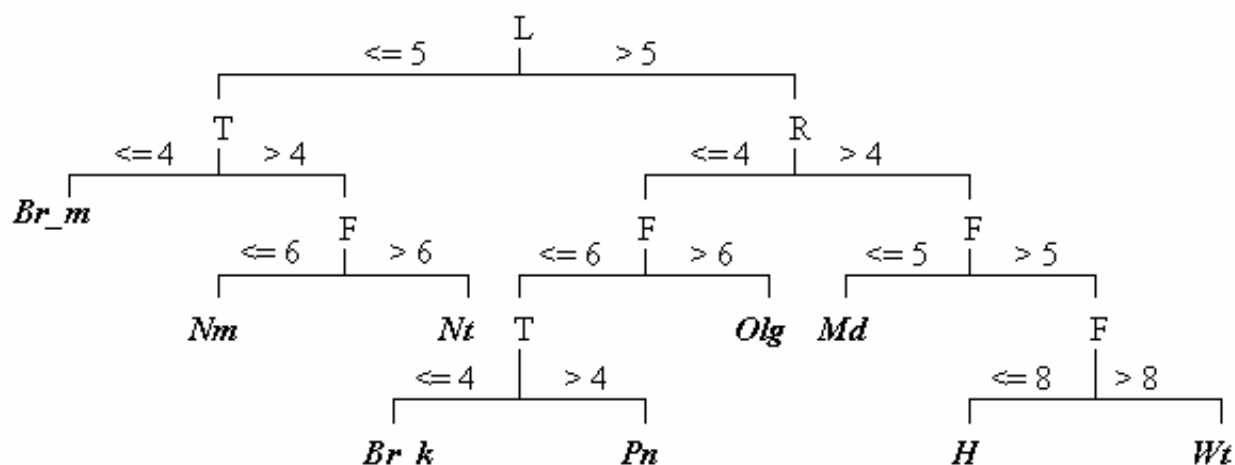


Рис. 9. Классификационное дерево (усеченное) для видов средней тайги. F - увлажнение почвы, L - освещенность, R - кислотность почвы, T – температурный режим. Обозначения ЭЦГ см. в тексте.

Таким образом, предложенные группы видов сосудистых растений северной и средней тайги в целом хорошо различались между собой по экологическим и ценогическим свойствам входящих в них видов. Только группа бореального высокотравья и в северной, и в средней тайге, по результатам анализа, требует дополнительного уточнения своего состава. Такой в целом положительный результат тем более интересен, что группы были выделены не только с учетом экологических и ценогических свойств видов, но также с учетом их жизненных форм, что позволяет предположить существование связи жизненных форм травянистых растений с их эколого-ценогической позицией в напочвенном покрове северных бореальных лесов.

Заключение

Методика уточнения состава ЭЦГ, разработанная авторами ранее и апробированная на семи основных ЭЦГ (Смирнов и др., 2004, 2006), в настоящей работе была использована с некоторыми модификациями для развития системы групп видов сосудистых растений северной и средней тайги Европейской России. Предложенный метод объединяет экспертные знания и статистические методы в единую процедуру, которая позволяет в условиях неполноты данных уточнить состав групп видов растений, выделенных экспертно. В методике используются современные многомерные методы количественной экологии - дискриминантный анализ, классификационные деревья, неметрическое многомерное шкалирование. В результате анализа для каждого вида определяется количественная мера его принадлежности к той или иной группе; группы могут пересекаться по составу.

В настоящей работе метод был с успехом применен не только для исследования и анализа состава ЭЦГ, но и для уточнения предложенного экспертом перечня групп видов растений. Было показано, что группы видов северной и средней тайги, выделенные по жизненным формам, экологическим свойствам видов и их приуроченности к сообществам разного типа, в целом достаточно хорошо различаются между собой по экологическим и ценогическим свойствам входящих в них видов. Только группа бореального высокотравья и в северной, и в средней тайге по результатам анализа требует дополнительного уточнения своего состава.

Использованный метод выделения, уточнения и исследования групп видов растений по совокупности их свойств позволяет работать с любыми видовыми группировками, выделенными как формальными, так и экспертными методами.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.Б. Заугольной и О.В. Смирновой за предоставленные материалы и многочисленные консультации. Благодарим всех авторов геоботанических описаний, использованных в работе, а также С.В. Дегтеву за предоставление электронной формы геоботанических описаний, включенных в публикацию 2001 г., и Л.В. Тетерюк

за предоставление базы данных геоботанических описаний высокотравных темнохвойных лесов, выполненных в Институте Биологии Коми НЦ УрО РАН в 1934-2000 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-04-49289), ИНТАС (грант № 01-0633), программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Научные основы сохранения биоразнообразия России».

Литература

Аврутин Н.А., Качурин М.Х., Коровкин А.А. Материалы по растительности Хибинских гор. Материалы по растительности центральной и западной частей Кольского полуострова. Труды совета по изучению производительных сил. Серия Кольская 1936. Вып. 11.

Боброва Л.И., Качурин М.Х. Очерк растительности Монче-гундры. Материалы по растительности центральной и западной частей Кольского полуострова. Труды совета по изучению производительных сил. Серия Кольская. 1936. Вып. 11.

Бобровский М.В., Ханина Л.Г. Количественная оценка разнообразия растительности на локальном уровне по лесотаксационным данным // Лесоведение. 2004. № 3. С. 28-34.

Дегтева С.В. Классификация березняков подзон южной и средней тайги Республики Коми. I. Березняки травянистые (*Betuleta herbosa*) // Растительность России. СПб. 2001. № 2. С. 3-37.

Дылис Н.В. Типы лиственничников Южного Тимана // Труды БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. В.4. 1938. С. 339-371.

Заугольнова Л.Б., Морозова О.В., Браславская Т.В. Классификационные системы лесного растительного покрова // Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. М.: Наука. В печати.

Зозулин Г.М. Исторические свиты растительности // Бот. журн. 1970. Т. 55, № 1. С. 23—33.

Зозулин Г.М. Исторические свиты растительности Европейской части СССР // Бот. журн. 1973. Т. 58, № 8. С. 1081—1092.

Корчагин А.А. Растительность северной половины Печоро-Илычского заповедника. Труды Печоро-Илычского гос. заповедника. Вып. 2. М. 1940. 416 с.

Лесков А. И. Фитоценотический очерк редколесий бассейна р. Полуй // Тр. БИН АН СССР. 1938. Сер. 3. Геоботаника. Вып. 4. С. 253-276.

Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю. Синтаксономическое разнообразие сосновых лесов Лапландского заповедника // Ботан. журн. 2002. Т. 87. № 1. С. 99-106.

Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Бот. журн. 1969. Т. 54, № 7. С. 1002—1014.

Оценка и сохранения биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / Под ред. Заугольновой Л.Б. М.: Научный мир, 2000. 196 с.

Сабуров Д.Н. Леса Пинеги. Л.: Наука. 1972. 173 с.

Самбук Ф.В. Печорские леса // Тр. Бот. музея АН СССР. Т. 24. 1932. С. 63-250.

Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. Уточнение эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Сборник материалов Всероссийской научной конференции. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2004. С. 26—28.

Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюлл. МОИП. Сер. Биологическая. 2006. № 1.

Смирнова О.В., Коротков В.Н. Старовозрастные леса Пяозерского лесхоза северо-западной Карелии // Бот. журн. 2001. Т. 86. №1. С. 98-109.

Смирнова О.В., Бобровский М.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Биоразнообразие и сукцессионный статус старовозрастных темнохвойных лесов Европейской России // Успехи современной биологии. 2006. № 1.

Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Комаров А.С., Михайлов А.В., Быховец С.С., Лукьянов А.М. Моделирование динамики разнообразия лесного напочвенного покрова // Лесоведение. 2006. № 1.

Ellenberg H. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart. 1996. 1096 s.

Quinlan J.R. C4.5: Programs for Machine learning. Morgan Kaufmann Publishers, 1993.

Witten I.H., Frank E. Data Mining: Practical machine learning tools and techniques. 2nd Edition, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2005. <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/>