

КРИТЕРИИ ОБОСНОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ИНТРОДУКЦИИ ИЛЬМОВЫХ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ

Семенютина А.В.¹, Подковыров И.Ю.¹

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт Волгоград, Россия (400062, Волгоград, пр-т Университетский, 97), e-mail: vnialmi@yandex.ru

Дано обоснование кластеров при комплексном подходе оценки успешности введения в культуру видового и формового разнообразия рода *Ulmus* L. семейства ильмовые. Представлена совокупность эколого-биологических признаков, которые по группам критериев выделены в кластеры. Объединение качественных и количественных признаков в однородные группы (кластеры) базируется на теоретических предпосылках принадлежности к одной совокупности, выяснении отношений близости, особенности сравниваемых видов, в том числе типах используемых признаков (для качественных – ранги, баллы, для количественных – размеры, количество, доля, частота и др.). На их примере с учетом экологических условий произрастания приведена оценка биологического потенциала ильмовых для расширения их биоразнообразия в защитном лесоразведении Нижнего Поволжья. Введение в культуру отдельных видов ильмовых на каштановых почвах сухостепной зоны показало положительные результаты, что позволяет прогнозировать успешность повышения их биоразнообразия в защитном лесоразведении. Достоверный прогноз успешности интродукции других видов этого родового комплекса может быть получен кластерным анализом, сущность которого состоит в сравнении видов путем объединения в однородные группы. Кластеры – это «непрерывные области (некоторого) пространства с относительно высокой плотностью точек, отделенные от других таких же областей областями с относительно низкой плотностью точек». Из многообразия кластерных методов для изучения родовых комплексов растений наиболее приемлемы иерархические агломеративные методы.

Ключевые слова: критерии кластеров, интродукция, биоразнообразие, древесные виды, ильмовые, защитное лесоразведение

ELIGIBILITY CRITERIA ANALYSIS OF PROMISING CLUSTERS AT ELM INTRODUCTION TO PROTECTIVE AFFORESTATION

Semenyutina A.V.¹, Podkovyrov I.V.¹

¹ GNU All-Russian Scientific-Research Institute of Agroforest Reclamation, Volgograd, Russia (400062, Volgograd, University Ave, 97), e-mail: vnialmi@yandex.ru

The substantiation of the cluster with an integrated approach evaluate the success of the introduction to the culture of species diversity and in kind of elm *Ulmus* L. family. Presented a set of ecological and biological characteristics, which are groups of criteria highlighted in clusters. Combining qualitative and quantitative traits in homogeneous groups (clusters) based on theoretical premises belonging to one set, clarifying the relationship of intimacy, especially of the species, including the types of signs used (for quality - grades, scores for quantitative - the size, number, percentage frequency et al.). Their example, taking into account environmental growing conditions give an estimate of the biological potential of elm to enhance their biodiversity in the Lower Volga protective afforestation. Introduction to the culture of certain types of elm chestnut soils of dry steppe zone showed positive results that allows to predict the success enhance their biodiversity in protective afforestation. Reliable prediction of success of the introduction of other species of this genus complexes can be obtained by cluster analysis, the essence of which consists in comparing the species by combining a homogeneous group. Clusters - a "continuous area (a) of a relatively high dot density, are separated from other regions such as regions with relatively low dot density." Of a variety of clustering methods for the study of complex generic plants are best suited hierarchical agglomerative methods.

Keywords: criteria clusters, introduction, biodiversity, wood species, elm, protective afforestation.

В Нижнем Поволжье естественно произрастают два вида ильмовых: вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.) и вяз граболистный (*U. carpinifolia* Rupp. ex Suckow.). Интродуцирован в Нижнем Поволжье вяз приземистый (*U. pumila* L.). В насаждениях также имеется ряд гибридных форм, образовавшихся в результате естественной гибридизации вяза

приземистого и граболистного. Коллекционные фонды дендрариев ВНИАЛМИ содержат искусственно созданные гибриды вяза приземистого и гадкого, а также вяз Андросова (*U. androssowii* Litw.) [2, 5, 1, 8].

Цели исследований – разработка критериев кластеров на основе анализа интродукции родового комплекса *Ulmus* в насаждениях Нижнего Поволжья и обоснование перспективности видов для защитного лесоразведения в засушливых условиях.

Материал и методы исследований

Объектами исследований являлись различные виды *Ulmus*, произрастающие в составе естественных, искусственных защитных насаждений Волгоградской и Астраханской областей, а также в дендрологических коллекциях ВНИАЛМИ и Богдинско-Баскунчакского заповедника. На этих объектах были заложены пробные площади с учетом состава, условий произрастания, возраста и модельного участка (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика объектов исследований

Шифр	Состав	Тип леса	Год посадки	Квартал/выдел	Примечания
Нехаевский межхозяйственный лесхоз, Волгоградская область					
H ₁	10Во	Д ₂	1965	2/4	Лесничество «Динамо»
H ₂	5Во5Я	Д ₂	1975	3/33	
H ₃	7Я3Во+Б	Д ₂	1965	3/38	
H ₄	8Я2Во	Д ₂	1965	3/39	
H ₅	4Во4Б1Кл1Яб	Д ₂	1950	4/32	
H ₆	5Д5Во	Д ₂	1950	4/38	
H ₇	5Д5Во	Д ₂	1939	4/3	
H ₈	8Вп2Р	Д ₂	1975	3/2	
H ₉	7Во1Кл2Гш	Д ₁	1965	3/13	
Нижневолжская станция по селекции древесных пород ВНИАЛМИ					
K ₁	10В	В ₀	1975		Лесная полоса
K ₂	4Д3Во3Я	В ₁	1970		Лесная полоса
K ₃	9Вгиб1Вп	А ₀	1984		Маточно-семенное насаждение
K ₄	10Вгиб	А ₁	1975		
K ₅	5Кз5Я	В ₁	1983		Приовражная лесная полоса
Быковский лесхоз, Волгоградская область					
Б ₁	9Вп1Во	Д ₀	1968	14/9	Приморское лесничество
Б ₂	10Вп+Во	Д ₀	1968	14/10	
Б ₃	10Я	Д ₀	1981	-	
Волгоградский лесхоз, Волгоградская область					
B ₁	4Вп3Р3Я+Д	Д ₀	1952		Государственная лесная полоса Камышин–Волгоград
B ₂	9Вп1Гр+Д	Д ₀	1960		
B ₃	10Вп	Д ₀	1978		Кировское лесничество
B ₄	10Вгиб	Д ₀	1978	ЛСП	
B ₅	10Вг	Д ₀	2000	ЛСП	

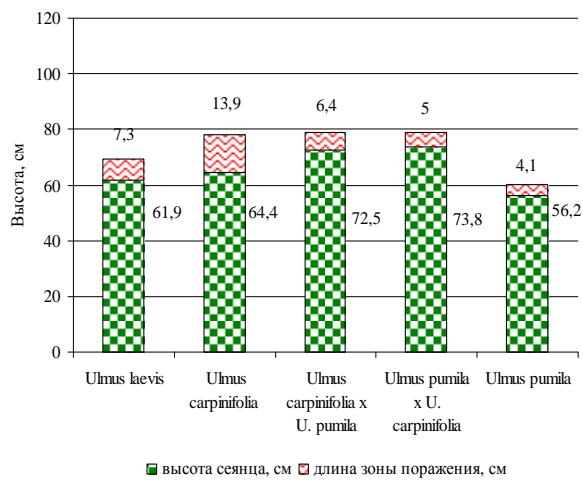
B ₆	10Вгиб	Д ₀	2000	ЛСП	
B ₇		Д ₀	1997-2000	Архив семей и клонов	
Октябрьский лесхоз, Волгоградская область					
O ₁	10Вп	Д ₀	1960		Абганеровское лесничество
Богдинско-Баскунчакский заповедник, Астраханская область (Бывш. Богдинская НИАГЛОС)					
A ₁	10Вп	B ₀	1952		Лесная полоса
A ₂	10Бер	B ₀	1976		Лесная полоса
A ₃	6Во4Д	B ₀	1976		Лесная полоса
A ₄	10Вп	B ₀	1958		Древесный зонт

Методика исследований базировалась на анализе литературных и ведомственных источников, собственных данных экспериментальных и полевых наблюдений. Сбор данных проводился по выделенным результивным признакам с составлением матриц сходства для каждой пары сравниваемых объектов (виды, формы, гибриды). Качественные (засухоустойчивость, зимостойкость и др.) и количественные (рост, развитие) типы признаков определялись по типовым методикам с учетом элементов биологического потенциала видов [4, 7]. Математическая обработка результатов осуществлялась в прикладных программах MS Exel и Statistica с использованием малых массивов данных наблюдений, которые объединялись в однородные кластеры [1].

Результаты исследования и их обсуждение

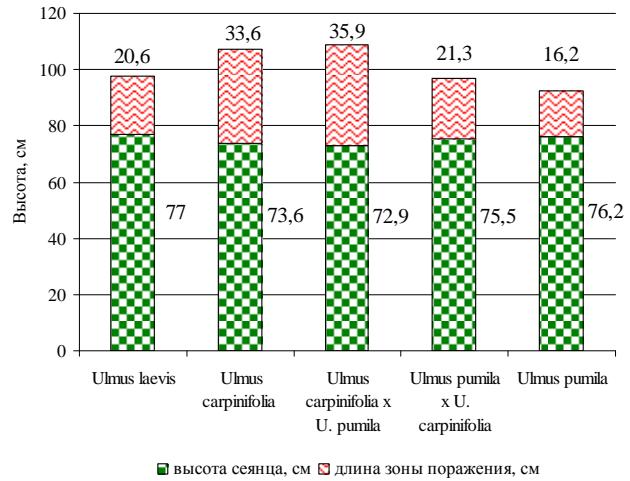
Ильмовые обладают достаточно широкой нормой реакции к факторам среды, что позволяет им произрастать в суровых почвенно-климатических условиях. Устойчивость видов определяют лимитирующие факторы: засуха, морозы, засоление почв, графиоз. Отношение ильмовых к этим факторам определялось в вегетационных опытах и полевых исследованиях (наименьшая существенная разность для 5%-ного уровня значимости составила 3,4–11,5 %). Развитие графиоза определялось в разных условиях увлажнения. На первом варианте влажность почвы поддерживалась на уровне 40 % от НВ, во втором – 60 % от НВ. Заражение производилось культурой гриба. Результаты опыта приведены на рисунке 1.

Наиболее устойчивыми оказались *Ulmus pumila* и *Ulmus pumila* x *U. carpinifolia* с преобладанием его признаков по сравнению с *U. carpinifolia* и *U. laevis*. Во влажных условиях болезнь развивается интенсивнее. При полевых обследованиях ильмовых насаждений в сухих условиях степи графиоз нами не обнаружен, что позволяет выращивать в этих условиях чувствительные виды. Интегральная оценка позволила ранжировать виды по устойчивости (табл. 2).



а

Рисунок 1. Развитие графиоза у сеянцев ильмовых при влажности почвы 40% от НВ (а) и 60% от НВ (б)



б

Таблица 2

Интегральная оценка видов и гибридов ильмовых

Систематическая группа	Устойчивость, баллы				Ранг
	к засухе	к засолению	к морозу	к графиозу	
<i>Ulmus pumila</i>	3,0±0,13	3,2±0,14	0,9±0,02	4,8±0,21	4
<i>Ulmus pumila x U. carpinifolia</i>	3,5±0,14	3,3±0,12	3,0±0,14	4,3±0,19	1
<i>Ulmus carpinifolia</i>	3,8±0,13	3,5±0,15	3,0±0,13	3,4±0,14	2
<i>Ulmus laevis</i>	3,0±0,14	3,9±0,17	нет данных	3,1±0,13	3

Одним из наиболее известных расстояний является евклидово расстояние (табл. 3).

Таблица 3

Степень морфологического сходства у видов *Ulmus* L. на основе расчета евклидовых расстояний

Виды <i>Ulmus</i> L.	<i>U. laevis</i>	<i>U. pumila</i>	<i>U. androssowii</i>	<i>U. carpinifolia</i>
<i>U. laevis</i>	3,74			
<i>U. pumila</i>	4,65	3,42		
<i>U. androssowii</i>	3,83	3,35	1,73	
<i>U. carpinifolia</i>	3,79	3,32	2,18	2,88

Для обоснования критериев кластеров использовались их нормированные значения (шкалы, масштаб, измерение). Градация значений признаков определена в пределах 0–1. Размер класса по каждому критерию рассчитывался по формуле:

$$R=(X_{max} - X_{min})/10-0,1,$$

где: X_{max} и X_{min} – максимальное и минимальное значения по каждому критерию.

Границы классов выявлены минимальными и максимальными значениями каждого критерия (табл. 4).

Таблица 4

Границы классов с минимальными и максимальными значениями критериев

Индекс критериев	Критерии кластеров	Градации значений признаков и границы классов									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
<i>Эколого-физиологические особенности</i>											
ВД	водный дефицит листьев в период засухи, %	< 5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40	41—45	> 46
ВЭ	состояние коллоидно-осмотических свойств протоплазмы по относительному выходу электролитов	< 0,5	0,6—0,1	0,11—0,15	0,16—0,20	0,21—0,25	0,26—0,30	0,31—0,35	0,36—0,40	0,41—0,45	> 0,46
<i>Таксационная характеристика</i>											
Н	высота ствола, м	< 1	1,1—3,5	3,6—6,0	6,1—8,5	8,6—11,0	11,1—13,5	13,6—16,0	16,1—18,5	18,6—21,0	> 21,1
D	диаметр ствола, см	< 10	10,1—14,0	14,1—18,0	18,1—22,0	22,1—26,0	26,1—30,0	30,1—34,0	34,1—38,0	38,1—42,0	> 42,1
DK	диаметр кроны, м	< 1	1,1—3,5	3,6—6,0	6,1—8,5	8,6—11,0	11,1—13,5	13,6—16,0	16,1—18,5	18,6—21,0	> 21,1
П	прирост побегов, см	< 10	11—30	31—50	51—70	71—90	91—110	111—130	131—150	151—170	> 171
<i>Репродуктивная способность</i>											
Ц	число цветов (соцветий) на метр-ветку	< 10	11—35	36—60	61—85	86—110	111—135	136—160	161—185	186—210	> 211
ЧП	число плодов (соплодий) на метр-ветку	< 10	11—35	36—60	61—85	86—110	111—135	136—160	161—185	186—210	> 211
У	урожайность семян (плодов) с растения, г	< 10	101—600	601—1100	1101—1600	1601—2101	2101—2600	3101—3600	3601—4100	4101—4600	> 4601
Д	доброта качественность семян, %	< 10	11—20	21—30	31—40	41—50	51—60	61—70	71—80	81—90	> 91
<i>Декоративность растений (по методике ВНИАЛМИ)</i>											
ФК	форма кроны	< 8,4	8,5—16,9	17,0—25,4	25,5—33,9	34,0—42,4	42,5—50,9	51,0—59,4	59,5—67,9	68,0—76,4	> 76,5
ОЛ	окраска листьев в течение вегетационного периода	< 1	1,1—6,0	6,1—12,0	12,1—18,0	18,1—24,0	24,1—30,0	30,1—36,0	36,1—42,0	42,1—48,0	> 48,1
ПЦ	продолжительность цветения	< 1	1,1—6,0	6,1—12,0	12,1—18,0	18,1—24,0	24,1—30,0	30,1—36,0	36,1—42,0	42,1—48,0	> 48,1
ОЦ	окраска цветов	< 1	1,1—6,0	6,1—12,0	12,1—18,0	18,1—24,0	24,1—30,0	30,1—36,0	36,1—42,0	42,1—48,0	> 48,1
ОП	окраска плодов	< 1	1,1—8,2	8,3—15,4	15,5—22,6	22,7—29,8	29,9—37,0	37,1—44,2	44,3—51,4	51,5—58,6	> 58,7
ООЛ	осенняя окраска листьев	< 1	1,1—4,6	4,7—8,2	8,3—11,8	11,9—15,5	15,5—19,1	19,1—22,7	22,7—26,3	26,3—29,9	> 29,9

					15,4	19,0	22,6	26,2	29,8	
--	--	--	--	--	------	------	------	------	------	--

Комплексная оценка кластеров по критериям дает возможность анализа и выявления интродукционного потенциала растений в новых для них условиях существования (табл. 5).

Таблица 5

Комплексная оценка видов рода *Ulmus* L. по критериям кластеров

Индекс критерия	Виды родового комплекса <i>Ulmus</i> L. и их показатели по критериям кластеров					
	<i>laevis</i>	<i>pumila</i>	<i>androssowii</i>	<i>carpinifolia</i>	<i>carp. var. argenteo variegata</i>	<i>carp. var. suberosa</i>
<i>Эколого-физиологические особенности</i>						
ВД	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
ВЭ	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
<i>Таксационная характеристика</i>						
Н	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,3
Д	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5
DK	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
П	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
<i>Репродуктивная способность</i>						
Ц	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,5
ЧП	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,3
У	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3
Д	0,9	0,8	0,1	0,7	0,7	0,7
<i>Декоративность растений</i>						
ФК	0,2	0,2	0,8	0,3	0,3	0,8
ОЛ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
ПЦ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ОЦ	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ОП	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
ООЛ	0,6	0,2	0,4	0,5	0,3	0,3

Нижнее Поволжье отличается тяжелыми почвенно-климатическими условиями: характерны частое повторение засух, суховеев, морозных зим, недостаточное количество осадков, засоление и солонцеватость почв. Эти факторы являются причиной неудовлетворительного современного состояния древесных видов, их плохого роста и низкой долговечности. Исследованиями выявлены резервы повышения устойчивости и долговечности искусственных насаждений в регионе. Важнейшими из них являются дифференцированное использование ассортимента деревьев и кустарников в зависимости от природных зон и лесорастительных условий региона и оценки биологического потенциала на основе кластерного метода.

Заключение

Лимитирующие факторы Нижнего Поволжья ограничивают возможности выращивания устойчивых насаждений ильмовых. Разработанные критерии кластеров для оценки устойчивости к засухе, морозу, засолению почв и графиозу позволяют дать

обоснование экотопов выращивания каждого вида. В черноземной степи необходимо применять *U. laevis*, в сухой степи и полупустыни – *U. carpinifolia*.

Выявлено, что комплексная оценка кластеров по критериям дает возможность анализа и выявления интродукционного потенциала растений в новых для них условиях существования. Установлено, что биоразнообразие родового комплекса *Ulmus* обладает различием хозяйственными ценных свойств по устойчивости к биотическим и абиотическим факторам, долговечности, росту и развитию. Подбор ассортимента на основе разработанных критериев позволяет создавать искусственные насаждения заданной конструкции в зависимости от их целевого назначения.

С учетом кластерного метода защитные насаждения в Нижнем Поволжье рекомендуется создавать по дифференцированной технологии выращивания ВНИАЛМИ (Авторское свидетельство № 1724095), при этом используя оригинальный алгоритм выделения критериев кластеризации с целью выявления перспективности видов для защитного лесоразведения по следующим этапам:

- 1) определение признаков и отбор выборки для кластеризации по объектам;
- 2) выявление меры сходства между видами и объектами по выборкам кластеризации;
- 3) формирование групп сходных объектов на основе метода кластерного анализа;
- 4) обоснование критериев и проверка достоверности результатов кластерного решения.

Список литературы

1. Гитис Л.Х. Статистическая классификация и кластерный анализ/ Л.Х. Гиттис. – М.: Горная книга, 2003. – 157 с.
2. Подковыров И.Ю. Научные основы отбора видового и формового разнообразия *Ulmus* L. для защитных лесных насаждений Нижнего Поволжья / И.Ю. Подковыров // Известия Нижневолжского агрониверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 3(35). – С. 91–97.
3. Подковыров И.Ю. Обоснование подбора видового состава и структуры рекреационно-озеленительных насаждений методом кластерного анализа / И.Ю. Подковыров, А.В. Семенютина, С.С. Таран // Перспективные направления исследований в изменяющихся климатических условиях: Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, 18–19 марта 2014. – Саратов, 2014. – С. 508–513.
4. Семенютина А.В. Эффективность использования кластерного метода при анализе декоративных достоинств озеленительных насаждений. / А.В. Семенютина, И.Ю. Подковыров, С.С. Таран // Глобальный научный потенциал. – 2014. – № 7 (37). – С. 21–27.

5. Семенютина А.В. Дендрологические ресурсы для повышения биоразнообразия деградированных ландшафтов // А.В. Семенютина, И.П. Свинцов / Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия естественные и технические науки. – № 9–10. – 2014. – С. 33–41.
6. Семенютина А.В. Перспективность интродукции видов рода *Celtis* L. для обогащения лесомелиоративных комплексов / А.В. Семенютина, М.А. Цембелев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3(27). – С. 37–42.
7. Черных В.Л. Математические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В.Л. Черных, Н.А. Власова, Н.Г. Киселёва, Д.М. Ворожцов. – Йошкар-Ола: Изд-во Поволжский гос. технологический ун-т, 2011. – 80 с.
8. Semenyutina A.V. Environmental efficiency of the cluster method of analysis of greenery objects decorative advantages / A.V. Semenyutina, I.U. Podkovyrov, V.A. Semenyutina // Life Science Journal. – 2014. – 11(12s). – P. 699-702.

Рецензенты:

Москвичев А.Ю., д.с.-х.н., профессор кафедры агроэкологии и защиты растений ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград;
Кимсанбаев О.Х., д.с.-х.н., профессор кафедры садоводства, селекции и семеноводства ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», г. Волгоград.