

Глава 3.

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

УДК 635.9.631.52

doi: 10.31360/2225-3068-2018-67-73-82

**ПРИМЕНЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
СИСТЕМНО-КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА
В СЕЛЕКЦИИ ПЕЛАРГОНИИ**

Гутиева Н. М., Киселёва Н. С.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур»,
г. Сочи, Россия, e-mail: ganaza777@yandex.ru*

Одной из актуальных задач селекции пеларгонии является идентификация различных сортов и гибридов по контурам листьев. Для решения поставленной проблемы предлагается использовать сканированные изображения листьев, а в качестве инструментария для построения измерительной системы и её применения – автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ). Форма контура конкретного листа рассматривается как количественная информация о сорте, включающая как информацию об истинной форме листа данного сорта (генотипа), так и изменения под случайным воздействием окружающей среды (фенотипа). Программный инструментарий АСК-анализа – интеллектуальная система «Эйдос» обеспечивает получение количественной информации об истинной форме листа каждого сорта на основе ряда конкретных примеров листьев данного сорта и созданием одного обобщённого образа формы листа, не зависящий от влияния внешней среды.

Ключевые слова: системная идентификация изображения, лист, пеларгония, генотип, сорт, сходство-различие, обобщенные образы, АСК-анализ, система «Эйдос».

Сорта пеларгоний зарубежной селекции, культивируемые в условиях Черноморского побережья Краснодарского края, обладая высокими декоративными качествами, имеют целый ряд недостатков, основными из которых являются неприспособленность к условиям выращивания и неустойчивость к вредителям и болезням. В результате сорта быстро вырождаются, теряется их декоративность и резко снижается эффективность возделывания, поэтому одной из задач селекции является получение сортов, адаптированных к условиям региона, несущих минимальную экологическую нагрузку [4–6].

В последние годы, для получения новых отечественных сортов пеларгоний, не уступающих лучшим зарубежным образцам по декоративным качествам, но превосходящим их по устойчивости к абиотическим

и биотическим стрессорам, во ВНИИЦиСК проводятся конгруентные межсортовые и межвидовые скрещивания. При этом исходные формы должны обладать ярко выраженными декоративными и хозяйственно-ценными признаками. Подбор сортов на признаки, контролируемые полигенами, по фенотипу не всегда приводит к желаемому результату. Внешне похожие формы могут иметь различную генетическую структуру этого признака и естественно, по-разному передавать его потомству [2, 3, 7]. Кроме того, в процессе селекционных исследований мы убедились в очень сложной гетерозиготной природе сортов пеларгонии. Генетическая несбалансированность таких сортов приводит к возникновению в гибридном потомстве большого разнообразия форм по биологическим и морфологическим признакам. В дальнейшем, при отборе форм с заданными признаками работа осложняется ещё и тем, что у гибридов при вегетативном размножении могут наблюдаться непредсказуемые изменения [7, 14]. Гибридное потомство таких комбинаций характеризуется широким спектром фенотипической изменчивости, вследствие которой возникает проблема количественного определения сходства и различия гибридных семян.

Для получения количественных характеристик фенотипических признаков сортов, гибридных семян, мутантов и др. используются разные системы [10, 12, 13]. Сравнение сортов, клонов, гибридов различных как цветочных, так и садовых культур по контурам листьев проводят чаще всего путём кластерного анализа самих листьев. При этом, как правило, не учитывается, что форма листа зависит не только от генотипа, но и от множества различных внутренних и внешних факторов. Это явление, из-за которого даже на одном кусте нет двух одинаковых листьев, называется «полиморфизм». Поэтому при применении кластерного анализа листьев на его результаты будут оказывать все эти факторы, а не только то, к каким клонам относятся эти листья [10, 12].

Идея сравнивать сорта не по конкретным листьям, а по обобщённым образам сортов, сформированным путём многопараметрической типизации, уже описывалась в литературе [10, 11]. В этих обобщённых образах влияние полиморфизма будет минимизировано, а генотипические особенности выдвинуты на первый план. Форма контура конкретного листа рассматривается как количественная информация о сорте, к которому он относится, включающее, как информацию о самом генотипе (истинной форме листа), так и об изменениях под воздействием окружающей среды (фенотипической изменчивости).

Цель исследований: оценить возможность применения автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализа) и его

программного инструментария – системы «Эйдос», как интеллектуальной измерительной технологии для решения такой актуальной задачи в селекции пеларгонии *Pelargonium* L'Hérit. ex Ait, как количественная идентификация различных сортов и гибридов по контурам листьев, т. е. установление схожести или степени различия по комплексу морфологических признаков листьев.

Селекционные исследования велись по общепринятой схеме селекции вегетативно размножаемых растений [2, 7, 14]. Фенологические наблюдения, особенности роста и развития гибридных семян проводили согласно методикам ГСИ [1] и усовершенствованной для пеларгоний [9].

Объектами исследований являются сортообразцы из генетической коллекции рода *Pelargonium* L'Hérit. ex Ait (виды, сорта и гибриды межсортных и межвидовых скрещиваний), сохраняемой в ботаническом саду «Дерево Дружбы».

В качестве исходных данных о сортах и гибридах пеларгонии для решения поставленной задачи предлагается использовать сканированные изображения листьев, а в качестве инструментария для построения измерительной системы и её применения – АСК-анализ и систему «Эйдос» (открытое программное обеспечение: http://lc.kubagro.ru/aidos/_Aidos-X.htm). Другими вариантами исходных данных могут быть геном или такие фенотипические признаки, как форма куста, форма, цвет и размер цветов и другие. Однако контуры листьев выбраны потому, что, с одной стороны, являются во многих отношениях наиболее удобным объектом исследования, а, с другой стороны, содержат информацию и о геноме, а значит косвенно и о других фенотипических признаках, обусловленных как геномом, так и воздействием окружающей среды.

В наших исследованиях материалом служили вызревшие листья различных сортов пеларгонии. Листья были сканированы (рис. 1), измерены и проанализированы методом АСК-анализа с применением его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос» [10].

Полученные результаты и их обсуждение. Общеизвестно, что межвидовая гибридизация позволяет получить широкий спектр новых форм, создать культивары разнообразные по окраске, форме цветка, общему габитусу растения. При выборе исходных форм критериями служат: высокая декоративность, продолжительность цветения, оригинальность окраски цветка, форма листа и куста, аромат и устойчивость к стрессорам. Источниками толерантности (устойчивости) и новых хозяйственно-ценных признаков являются образцы из признаковой коллекции рода *Pelargonium* L'Hérit. ex Ait семейства гераниевые (*Geraniaceae* Juss.) [8].

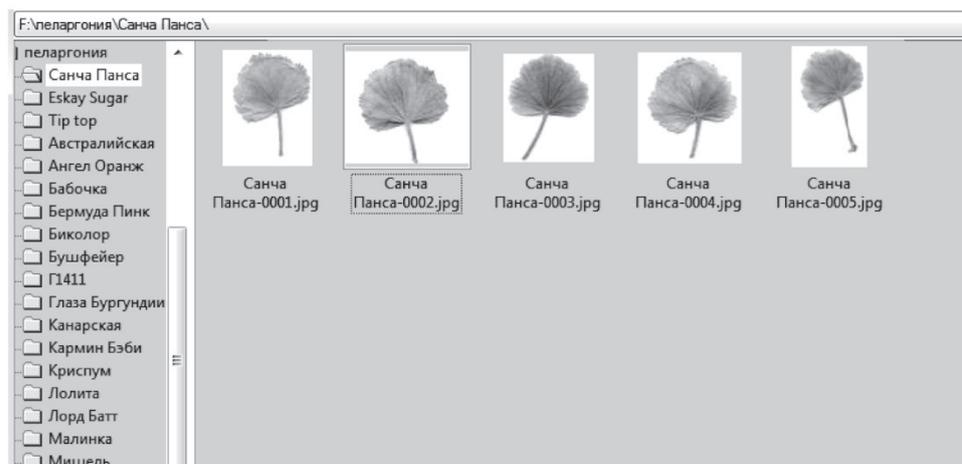


Рис. 1. Расположение и структура исходных данных: сканированные изображения листьев различных сортов

При этом, в потомстве размножаемых гибридов из-за высокой модификационной изменчивости количественных признаков и наличия высокой степени полиморфизма листьев – самых распространённых определителей самих генотипов, возникает вопрос об их различимости между собой по комплексу морфологических признаков [7, 13, 14].

На базе Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур в ботаническом саду «Дерево Дружбы» в течение ряда лет проводятся селекционные исследования с пеларгониями из разных групп. Использование источников с известной фенотипической структурой позволяет целенаправленно осуществлять подбор родительских пар и увеличивает вероятность получения запланированного гибридного потомства, обладающего высокой и стабильной продуктивностью цветения, адаптивной способностью и пластичностью.

Решение поставленной задачи осуществлено в три этапа.

На первом этапе создана исходная модель, включающая обобщённые образы классов по каждому сорту. Для этого применён режим 2.3.2.4., который находит все поддиректории в папке: ..\AID_DATA\Inp_data\ и все графические файлы jpg. и bmp. в поддиректориях; находит контуры в этих графических файлах и их центры тяжести; в папку: ..\AID_DATA\Out_data\ записывает графические файлы, состоящие только из контуров с изображёнными на них точками, которые были оцифрованы (рис. 2).

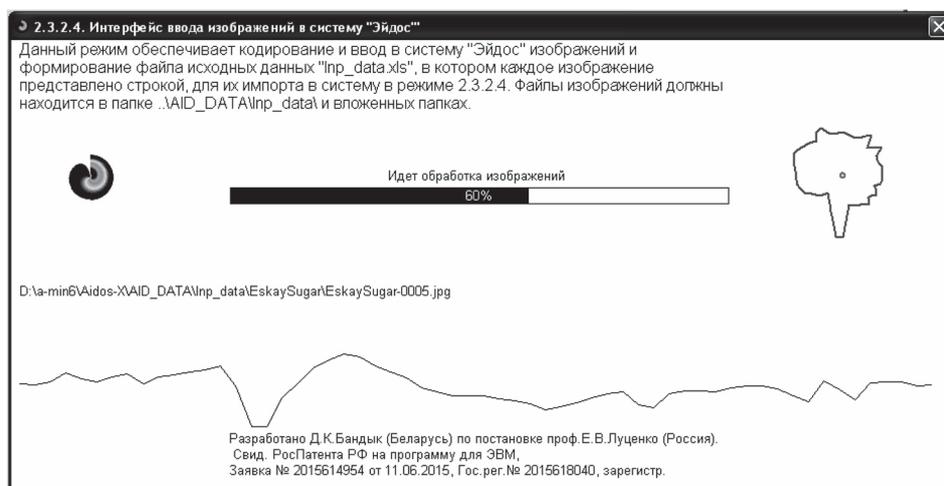


Рис. 2. Экранная форма
с отображением стадии процесса исполнения

При этом используется полярная система координат с центром в центре тяжести изображения, а результатами оцифровки являются расстояния от центров тяжести изображений до точек их контура при различных углах поворота радиус-вектора [10–12]. При этом структура поддиректорий и имена файлов в папках: `..\AID_DATA\Inp_data\` и `..\AID_DATA\Out_data\` совпадают. Вид контурного изображения отдельных листьев приведён на рисунке 3.

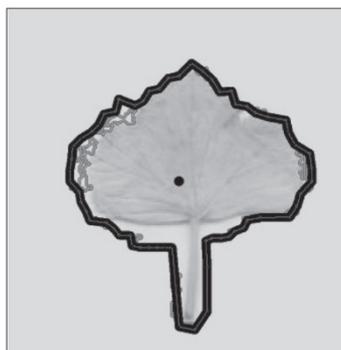


Рис. 3. Пример контурного изображения листа:
`c:\Aidos\AID_DATA\Out_data\Лолита\Лолита - 0005.jpg`

В данной статье мы не будем описывать саму технологию применения АСК-анализа и системы «Эйдос», т. к. они подробно описаны в других работах [10–12], а больше внимания уделим описанию смысла сформулированной задачи и её решения.

Далее проведено формирование математических моделей конкретных листьев с применением теории информации, подробно описанной в статье Е. В. Луценко с соавторами [11]. Отметим лишь, что на этих этапах были автоматически созданы классификационные и описательные шкалы и градации, в наглядной форме приведённые на рисунке 4, и исходные данные кодируются с их использованием, в результате чего формируется обучающая выборка и база событий (эвентологическая база данных).

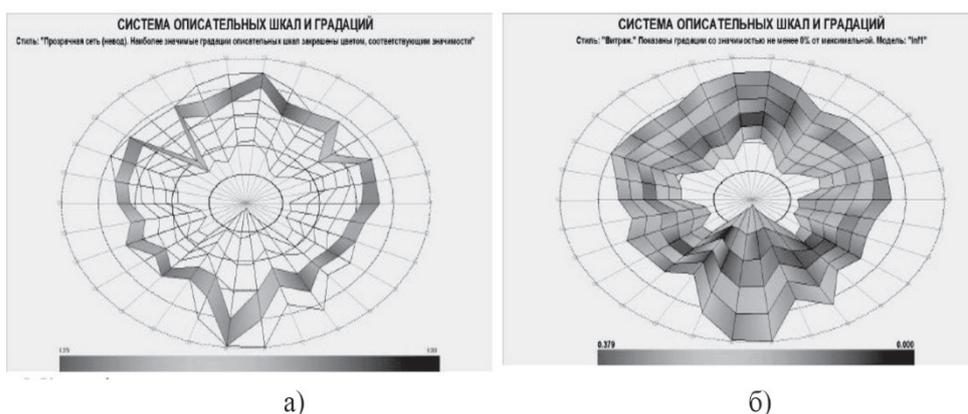


Рис. 4. Режимы 2.1 и 2.2.
Классификационные и описательные шкалы и градации
(модель INF1)

На рисунке 4 цветом обозначена ценность различных градаций описательных шкал для того, чтобы отличить один класс от другого. На правом рисунке приведены градации всех описательных шкал, а на левом, только наиболее ценные в каждой шкале.

На третьем этапе создается итоговая модель, включающая 29 обобщённых образа класса по листьям, выявленным на втором этапе. Формирование моделей обобщённых образов листьев различных клонов проводилось на основе конкретных листьев (многопараметрическая типизация). В результате многопараметрической типизации были получены следующие обобщённые образы листьев сортов и гибридов (рис. 5).

В системе «Эйдос-Х++» возможна оценка достоверности 7 моделей знаний, а также 3 статистических моделей, с использованием двух интегральных критериев сходства конкретного образа идентифицируемого объекта с обобщённым образом класса: «Резонанс знаний» (сходство между конкретным образом распознаваемого объекта) и «Сумма знаний» (обобщёнными образами классов).

При этом для каждого объекта распознаваемой выборки выводится список классов, ранжированный по убыванию интегрального критерия сходства. В начале этого списка расположены классы, к которым распознаваемый объект, по-видимому, относится по своим признакам, а в конце – к которым не относится.

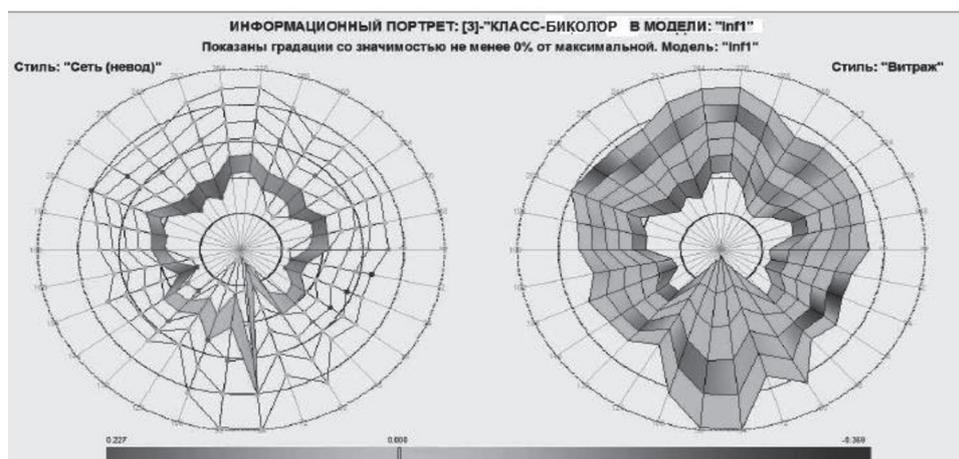


Рис. 5. Обобщённый образ листьев сорта 'Биколор'.

Таким образом, система генерирует несколько различных форм по достоверности моделей с этими интегральными критериями. При идентификации часто возникают ошибки, снижающие достоверность модели. По мнению авторов [10, 11], основной причиной этих ошибок является наличие в обучающей выборке «нетипичных» для данного сорта листьев, значительно отличающихся по своей форме от основной массы листьев сорта (явление полиморфизма).

Для поиска и удаления из обучающей выборки данных по нетипичным листьям применён режим: 3.7.6. для разделения классов на типичную и нетипичную части. При сокращении распознаваемой выборки от 145 путём удаления нетипичных объектов до 115 листьев, достоверность идентификации в модели INF4 возросла до 85 %. Созданная 2-я модель показала достаточно высокую достоверность, близкую к 1-й модели: около 87 %.

Количественное определение сходства-различия клонов, т. е. кластерно-конструктивный анализ обобщённых образов листьев различных сортов и гибридов пеларгонии показан в итоговой наглядной форме результатов распознавания на примере сорта пеларгонии курчавой 'Бабочка' (*P. crispum* × 'Moon Maiden') селекции ФГБНУ ВНИИЦиСК и его родительской пары (как объектов) с обобщёнными образами классов (идеальных листьев различных видов) (рис. 6).

4.1.3.4. Итоговая наглядная форма результатов распознавания: "Класс-объект". Текущая модель: "INF4"

Пояснения по смыслу частных и интегральных критериев:

Интегральный критерий:

1 Семантический резонанс знаний

2 Сумма знаний

Частн. крит.: 7 моделей знаний | Инт. крит.: "Сумма знаний" | Инт. крит.: "Резонанс знаний"

Наименование класса	Код объекта с МАХ зр. сход.	Наименование объекта с МАХ уровнем сходства	МАХ уровень сходства	Код объекта с MIN зр. сход.	Наименование объекта с MIN уровнем сходства	MIN уровень сходства	Достоверность
1 КЛАСС-Санча Панса	1	Санча Панса Санча Панса-0001.jpg	83.387	106	Персиянка Персиянка-0001.jpg	-41.694	62.540
3 КЛАСС-Ескю Судар	24	Ангел Оранж Ангел Оранж-0004.jpg	68.023	103	Паска Паска-0003.jpg	-34.103	51.063
1 КЛАСС-Тир тор	12	Тир тор Тир тор-0002.jpg	76.374	103	Паска Паска-0003.jpg	-33.897	55.136
6 КЛАСС-Австралийская	16	Австралийская Австралийская-0001.jpg	47.981	142	Яшма Яшма-0002.jpg	-23.991	35.986
7 КЛАСС-Австралийская	17	Австралийская Австралийская-0001.jpg	59.335	118	Роллер Роллер-0003.jpg	-38.488	48.912
1 КЛАСС-Ангел Оранж	118	Роллер Роллер-0003.jpg	67.473	140	Экзотика Экзотика-0005.jpg	-42.005	54.739
6 КЛАСС-Бабочка	1	Санча Панса Санча Панса-0001.jpg	83.387	106	Персиянка Персиянка-0001.jpg	-41.694	62.540
1 КЛАСС-Бермуда Пинк	33	Бермуда Пинк Бермуда Пинк-0001.jpg	84.743	143	Яшма Яшма-0003.jpg	-53.130	68.936
6 КЛАСС-Биколор	1	Санча Панса Санча Панса-0001.jpg	76.033	106	Персиянка Персиянка-0001.jpg	-39.227	57.630
1 КЛАСС-Бушфейер	45	Бушфейер Бушфейер-0005.jpg	73.307	143	Яшма Яшма-0003.jpg	-40.458	56.882
6 КЛАСС-Г1411	17	Австралийская Австралийская-0001.jpg	55.851	118	Роллер Роллер-0003.jpg	-32.139	43.995
1 КЛАСС-Глаза Бургундии	1	Санча Панса Санча Панса-0001.jpg	83.387	106	Персиянка Персиянка-0001.jpg	-41.694	62.540
6 КЛАСС-Канарская	17	Австралийская Австралийская-0001.jpg	55.851	118	Роллер Роллер-0003.jpg	-32.139	43.995
1 КЛАСС-Кармин Баби	63	Кармин Баби Кармин Баби-0004.jpg	39.079	105	Паска Паска-0005.jpg	-26.640	32.859
6 КЛАСС-Кристум	1	Санча Панса Санча Панса-0001.jpg	83.387	106	Персиянка Персиянка-0001.jpg	-41.694	62.540
1 КЛАСС-Лорд Батт	73	Лорд Батт Лорд Батт-0003.jpg	76.138	143	Яшма Яшма-0003.jpg	-48.424	62.281

Рис. 6. Итоговая форма результатов распознавания «класс-объект»

На рисунке 6 в таблице приведены результаты сравнения друг с другом обобщённых образов листьев различных сортов пеларгонии (классов) с отдельными листьями (объектами), отображенные также в графической форме когнитивной диаграммы. Показано 9 обобщённых классов с максимальным модулем сходства, на примере *P. canariense* Willd (рис. 7).

4.1.3.1. Визуализация результатов распознавания в отношении: "Объект-классы". Текущая модель: "INF4"

Распознаваемые объекты

Код	Наим. объекта
34	Биколор Биколор-0003.jpg
35	Биколор Биколор-0004.jpg
36	Биколор Биколор-0005.jpg
37	Бушфейер Бушфейер-0003.jpg
38	Бушфейер Бушфейер-0005.jpg
39	Г1411 Г1411-0002.jpg
40	Г1411 Г1411-0003.jpg
41	Г1411 Г1411-0005.jpg
42	Глаза Бургундии Глаза Бургундии
43	Глаза Бургундии Глаза Бургундии
44	Глаза Бургундии Глаза Бургундии
45	Глаза Бургундии Глаза Бургундии
46	Глаза Бургундии Глаза Бургундии
47	Канарская Канарская-0001.jpg
48	Канарская Канарская-0002.jpg
49	Канарская Канарская-0005.jpg
50	Кармин Баби Кармин Баби
51	Кармин Баби Кармин Баби
52	Кристум Кристум-0001.jpg
53	Кристум Кристум-0002.jpg
54	Кристум Кристум-0003.jpg

Интегральный критерий сходства: "Семантический резонанс знаний"

Код	Наименование класса	Сходство	Ф...	Сходство
109	КЛАСС-Экзотика	74,80...		
1	КЛАСС-Санча Панса	41,99...		
22	КЛАСС-Бабочка	41,99...		
42	КЛАСС-Глаза Бургундии	41,99...		
52	КЛАСС-Кристум	41,99...		
63	КЛАСС-Малинка	41,99...		
75	КЛАСС-Панси	41,99...		
87	КЛАСС-Розовый Бриз	41,99...		
32	КЛАСС-Биколор	31,94...		

Интегральный критерий сходства: "Сумма знаний"

Код	Наименование класса	Сходство	Ф...	Сходство
17	КЛАСС-Австралийская	2,502...		
50	КЛАСС-Кармин Баби	2,502...		
60	КЛАСС-Лорд Батт	2,502...		
39	КЛАСС-Г1411	1,596...		
47	КЛАСС-Канарская	1,596...	v	
37	КЛАСС-Бушфейер	1,590...		
109	КЛАСС-Экзотика	1,549...		
1	КЛАСС-Санча Панса	1,173...		
22	КЛАСС-Бабочка	1,173...		

Рис. 7. Идентификация объекта – листьев *P. canariense* с обобщёнными классами

Сорта группы Ангел имеют разную форму и размер листьев, что количественно строго объективно и определено системой непосредственно на основе эмпирических данных. Сорт 'Бабочка' также является родственником этой группы, получен путём скрещивания видовой пеларгонии курчавой и сорта Ангела (*P. crispum* × 'Moon Maiden'), однако его форма листьев отличается от них. Пеларгония 'Канарская' на 75 % соответствует обобщённому образу листьев класса Экзотика и только на 2,5 % пеларгонии 'Южной' (*P. australe*).

Хорошее совпадение результатов выявления сходства-различия сортов и гибридов пеларгонии по форме контуров листьев увеличивает достоверность полученных данных в этих исследованиях.

Выводы. Применение автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализа), как интеллектуальной измерительной технологии позволяет провести количественную идентификацию различных сортов и гибридов представителей рода *Pelargonium* по контурам листьев. Установлено, что на форму контура листьев генотип оказывает большее влияние, чем окружающая среда в виде воздействия различных факторов, связанных с расположением растений.

Библиографический список

1. Былов В.Н. Основы сравнительной сортооценки декоративных растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений: сб. тр. – М.: Наука, 1978. – С. 7-31.
2. Гутиева Н.М. Особенности отбора гибридов при селекции пеларгонии крупноцветковой // Садоводство и виноградарство. – 2014. – № 4. – С. 32-36. – ISSN: 0235-2591.
3. Гутиева Н.М. Любимые пеларгонии. Коллекция в субтропическом саду «Дерево Дружбы» (Сочи) // Цветоводство. – 2014. – № 4. – С. 19-21. – ISSN: 0041-4905.
4. Гутиева Н.М. Актуализация приоритетов в селекции пеларгоний для условий влажных субтропиков России // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 43. – С. 51-56. – ISSN: 2073-4948.
5. Гутиева Н.М. Межвидовая гибридизация рода *Pelargonium* для создания сортов нового поколения // Садоводство и виноградарство. – 2016. – № 6. – С. 17-22. – ISSN: 0235-2591.
6. Гутиева Н.М. Коллекция рода *Pelargonium* в свете новых критериев секционного разделения пеларгоний // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 122. – С. 304-317. – eISSN: 1990-4665. – doi: 10.21515/1990-4665-122-022.
7. Гутиева Н.М. Методические подходы к отдаленной гибридизации рода *Pelargonium* // Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография. – Краснодар: СКФНЦСВВ, 2017. – С. 261-268. – ISBN: 978-5-98272-114-3.
8. Гутиева Н.М. Признаковая коллекция рода *Pelargonium* // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018. – Вып. 54. – С. 31-34. – ISSN: 2073-4948.

9. Зинина В.Ф. Первичная оценка декоративных признаков у интродуцированных сортов пеларгонии зональной // Бюлл. Никитского ботанического сада. – 1985. – Вып. 60. – С. 34-38.
10. Луценко Е.В., Бандык Д.К. Автоматизированный системно-когнитивный анализ изображений по их внешним контурам (обобщение, абстрагирование, классификация и идентификация) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – № 110(06). – С. 138-167. – eISSN: 1990-4665. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/09.pdf>.
11. Луценко Е.В., Бандык Д.К., Трошин Л.П. Решение задач ампелографии с применением АСК-анализа изображений листьев по их внешним контурам (обобщение, абстрагирование, классификация и идентификация) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – № 112(08). – С. 862-910. – eISSN: 1990-4665. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/64.pdf>
12. Луценко Е.В. Бандык Д.К., Трошин Л.П. Количественное измерение сходства-различия клонов винограда по контурам листьев с применением АСК-анализа и системы «Эйдос» // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ, [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 116(02). – С. 1205-1228. – eISSN: 1990-4665. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/77.pdf>
13. Программа Северо-Кавказского центра по селекции плодовых, цветочно-декоративных культур и винограда на период до 2030 г. / под общ. ред. Е.А. Егорова. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2013. – 202 с. – ISBN: 972-5-98272-096-2.
14. Рындин А.В., Мохно В.С. Методические подходы к созданию современных сортов садовых культур в субтропиках России. // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2012. – Вып. 47. – С. 111-117. – ISSN: 2225-3068.

APPLYING AUTOMATED SYSTEM-COGNITIVE ANALYSIS IN PELARGONIUMS BREEDING

Gutiyeva N. M., Kiseleva N. S.

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops”,
c. Sochi, Russia, e-mail: ganaza777@yandex.ru*

One of the urgent tasks in pelargonium breeding is to identify different cultivars and hybrids by the contours of their leaves. To solve this problem, it is proposed to use scanned images of leaves, and to apply automated system-cognitive analysis (ASC-analysis) as a toolkit for building a measuring system and its application. The shape of the contour of a particular leaf is considered as quantitative information about the cultivar, including both information about the true leaf shape of a given cultivar (genotype) and changes due to random environmental exposure (phenotype). The software toolkit of the ASC-analysis is an intellectual system “Eidos”, which provides quantitative information about the true leaf shape of each cultivar based on a number of specific leaves examples of this cultivar and creates one generalized image of the leaf shape, independent on the external environment influence.

Key words: system identification of the image, leaf, pelargonium, genotype, cultivar, similarity-difference, generalized images, ASC-analysis, “Eidos” system.