

Глава 3.

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

УДК 634.13:631.527:57.087.1

doi: 10.31360/2225-3068-2020-74-55-69

**КЛАССИФИКАЦИЯ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ
И АПРОБАЦИЯ ГЕНОТИПОВ ГРУШИ
МЕТОДОМ АСК-АНАЛИЗА**

Киселёва Н. С.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
Сочи, Россия, e-mail: nskiselyeva_05@mail.ru*

В статье приведены результаты исследований по применению АСК-анализа и его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос» для возможности классификации, идентификации и апробации имеющихся в коллекции сортов и гибридов и установления взаимосвязей между морфологическими признаками груши (величина и форма листьев, величина, масса, форма плода и её индекс). Изучалась степень сходства и различия характеризующая генотипы показателей. Созданы 3 статистические и 7 системно-когнитивных моделей, в которых сформированы обобщённые образы классов по количественной и качественной оценке комплекса морфологических признаков генотипов груши. Наиболее достоверной оказалась модель INF4 при интегральном критерии «Резонанс знаний», с помощью которой были решены задачи прогнозирования (диагностика, классификация, распознавание, идентификация).

Ключевые слова: груша, сорт, генотип, плод, лист, сила связи, АСК-анализ.

Современные технологии возделывания плодовых садов вызывают острую необходимость отбора сортов с учётом имеющегося генетического потенциала, обуславливающего нужные хозяйственные свойства, а значит и экономические результаты. Новые сорта должны быть скороплодными и урожайными, с плодами высоких товарных и потребительских качеств, с повышенным содержанием биологически активных веществ, разных сроков созревания, обладать высокой устойчивостью к абиотическим стресс-факторам, устойчивостью к болезням и вредителям.

В связи с этим возникает необходимость в разработке методов оценки экологических условий произрастания груши, изучения сортов, приспособленных к конкретным климатическим и почвенным условиям, и основным путём улучшения сортимента груши является селекция. Поэтому целесообразность исследования косвенного влияния генома различных

сортов и гибридов груши на их хозяйственно-ценные признаки (товарные качества), а именно – через влияние генотипа на фенотипические биологические особенности, является значимым и актуальным. Решение поставленной проблемы возможно путём установления взаимосвязей между морфологическими и помолологически значимыми признаками.

Цель нашей работы заключается в применении АСК-анализа для классификации, идентификации и апробации генотипов груши на основе созданной обучающей модели.

Для этого необходимо выполнить ряд задач: выявление самих зависимостей; прогнозирование товарных качеств плодов сортов и гибридов груши, исходя из морфологических особенностей; исследование детерминации товарных качеств морфологическим признакам; создание модели для описания, классификации, идентификации и апробации имеющихся в коллекции генотипов.

Методика исследования. Первичные полевые данные получены в 2007–2019 гг. на коллекционном участке ФИЦ СНЦ РАН (г. Сочи). Объекты исследований – сорта и гибриды рода груши (*Pyrus L.*) различных видов и сроков созревания. Исследования и отбор проводили по общепринятым программам и методикам [9, 10].

В нашем случае в группе признаков учитывались морфологические признаки вегетативных органов: величина и форма листьев; морфологические признаки плодов: форма, размер, окраска. Форма самого плода, его величина и окраска являются главными сортовыми признаками и определяются генотипом сорта, большое влияние на эти признаки оказывают условия окружающей среды, что приводит к значительному варьированию в пределах сорта. Для классификационных целей брались постоянные для сорта показатели, в том числе – соотношение высоты и диаметра плода (индекс формы). Плоды груши раннего и позднего срока созревания отбирались типичные по форме, размеру и окраске для каждого помолологического сорта, соответствующие характеристикам и нормам межгосударственного стандарта (ГОСТ 21713-76 и ГОСТ 21714-76).

Обработка данных производилась с помощью автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализа) в системе «Эйдос» [5, 6, 7]. АСК-анализ представляет собой метод искусственного интеллекта, разработанный проф. Е. В. Луценко в 2002 г. [6] для решения широкого класса задач идентификации, прогнозирования, классификации, диагностики, поддержки принятия решений и исследования моделируемой предметной области путём исследования её модели. АСК-анализ доведён до инновационного уровня благодаря тому, что имеет свой программный инструментарий – универсальную когнитивную аналитическую систему «Эйдос-Х++» (система «Эйдос»).

Система «Эйдос» выгодно отличается от других интеллектуальных систем следующими параметрами: разработана в универсальной постановке, не зависящей от предметной области, поэтому она является универсальной и может быть применена во многих предметных областях (<http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>); находится в полном открытом бесплатном доступе (http://lc.kubagro.ru/aidos/_Aidos-X.htm), причём с актуальными исходными текстами (<http://lc.kubagro.ru/AIDOS-X.txt>); обеспечивает выявление в сопоставимой форме силы и направления причинно-следственных зависимостей в неполных зашумленных взаимозависимых (нелинейных) данных очень большой размерности числовой и не числовой природы, измеряемых в различных типах шкал (номинальных, порядковых и числовых) и в различных единицах измерения (т. е. не предъявляет жёстких требований к данным, которые невозможно выполнить, а обрабатывает те данные, которые есть); обеспечивает преобразование исходных эмпирических данных в информацию, а её – в знания и решение с использованием этих знаний задач классификации, поддержки принятия решений и исследования предметной области путём исследования её системно-когнитивной модели, генерируя при этом очень большое количество табличных и графических выходных форм развития (когнитивная графика), у многих из которых нет никаких аналогов в других системах.

Среди ряда системно-когнитивных моделей (модели знаний), задействованных в АСК-анализе, нами были выбраны и задействованы модели «INF 3», основой которой является разность между фактическими и теоретическими ожидаемыми частотами, и «INF 4», основанная на частном критерии ROI – Return On Investment, первый вариант расчёта относительных частот: N_j – суммарное количество признаков по j -му классу при интегральном критерии «Семантический резонанс знаний». Центральным местом в данных моделях является так называемый нелокальный нейрон. В качестве последнего может быть любой показатель, зависимый от различных изучаемых признаков (факторов).

Результаты. По плодовым культурам в настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 1 290 сортов. Число используемых сортов постоянно увеличивается как в результате выведения новых, так за счёт интродукции. Ориентироваться в такой разнообразии позволяют чётко выраженные признаки, характерные только для конкретного сорта в зоне его выращивания.

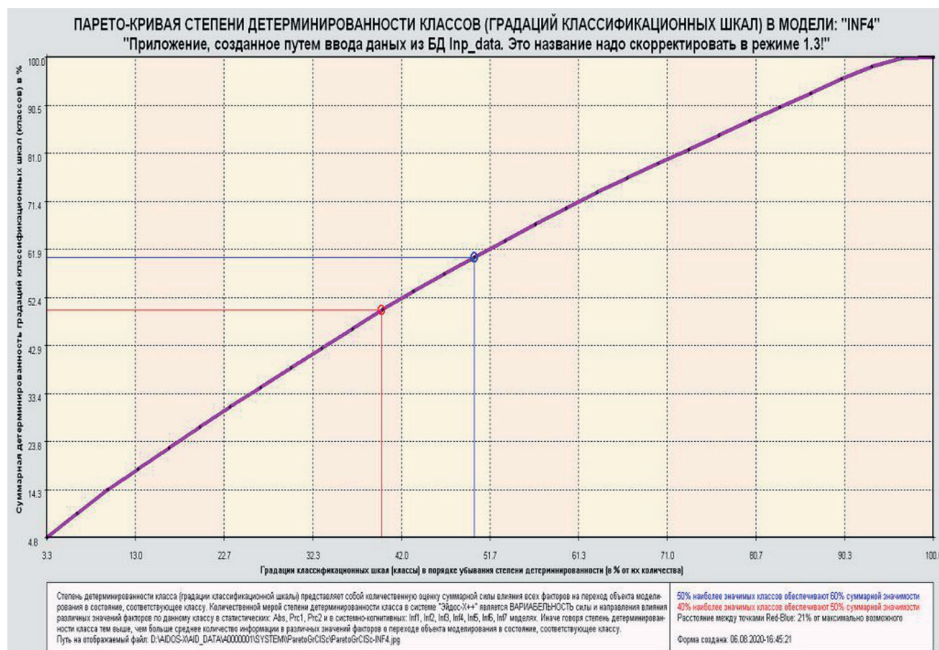
Согласно современным представлениям помологии (лат. *potum* – «плод» и гр. *logos* – «учение» – изучение сортов плодовых и ягодных растений, их признаков и свойств), сорт – это группа идентичных по

генетическим свойствам и по морфологическим признакам особей, которая по своему происхождению представляет собой клон [8, 11]. Полная идентичность растений сорта возможна лишь при одинаковых условиях выращивания [1, 2, 11, 12]. После всестороннего изучения сорта составляется помологическое описание, включающее его подробную производственно-биологическую характеристику и морфологическое описание с указанием признаков, по которым он отличается от других сортов. Больше всего выраженных морфологических признаков имеет плод, но именно на плоды сильнее всего влияют возраст и состояние дерева, нагрузка его урожаем, интенсивность роста, погодные условия, положение плода в кроне дерева и многое другое. Чтобы достоверно определить сорт груши, необходимо располагать комплексом описывающих его признаков [3–5, 8, 11].

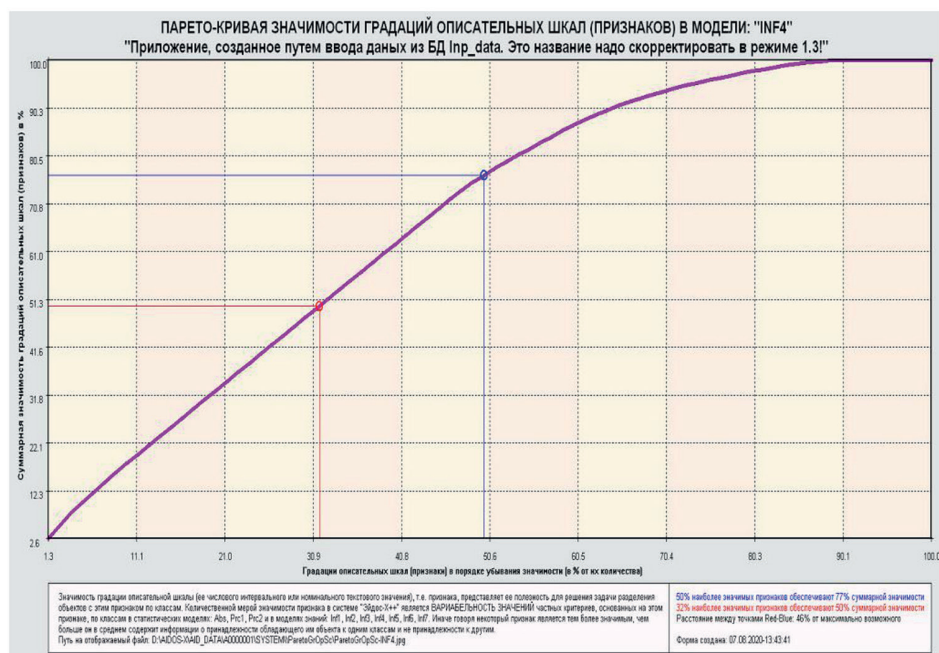
Таким образом, на этапе когнитивно-целевой структуризации предметной области в качестве классификационных шкал использовали колонки «Сорт, гибрид» и «Вид», описательных шкал – качественные и количественные параметры плода (срок созревания, величина, масса (г), окраска, форма и её индекс) и листа (коэффициент величины (см²), форма листовой пластинки). Количественные признаки описательных шкал составили 10 градаций.

В системе «Эйдос» процесс формализации предметной области полностью автоматизирован и реализуется в режиме 2.3.2.2. На этапе формализации предметной области разрабатываются классификационные и описательные шкалы и градации, и с их помощью кодируются исходные данные, в результате чего получается обучающая выборка, представляющая собой нормализованную базу исходных данных. Это делает исходные данные готовыми для обработки в программной системе и выполнения следующего этапа АСК-анализа: синтеза и верификации модели (режим 5.6). При достаточной адекватности модели её исследование можно считать исследованием самого моделируемого объекта [5–7].

Так, степень детерминированности класса тем выше, чем больше среднее количество информации в различных значениях факторов о переходе объекта моделирования в состояние, соответствующее классу. Парето-кривая степени детерминированности классов (градации классификационных шкал) в режиме 3.7.3 (рис.1а) наглядно показывает, что в модели INF4 около 50 % наиболее значимых классов обеспечивают 60 % суммарной значимости. Парето-кривая значимости градаций описательных шкал (признаков) наглядно показывает, что около 50 % наиболее значимых градаций обеспечивают 77 % суммарной значимости (рис.1б).



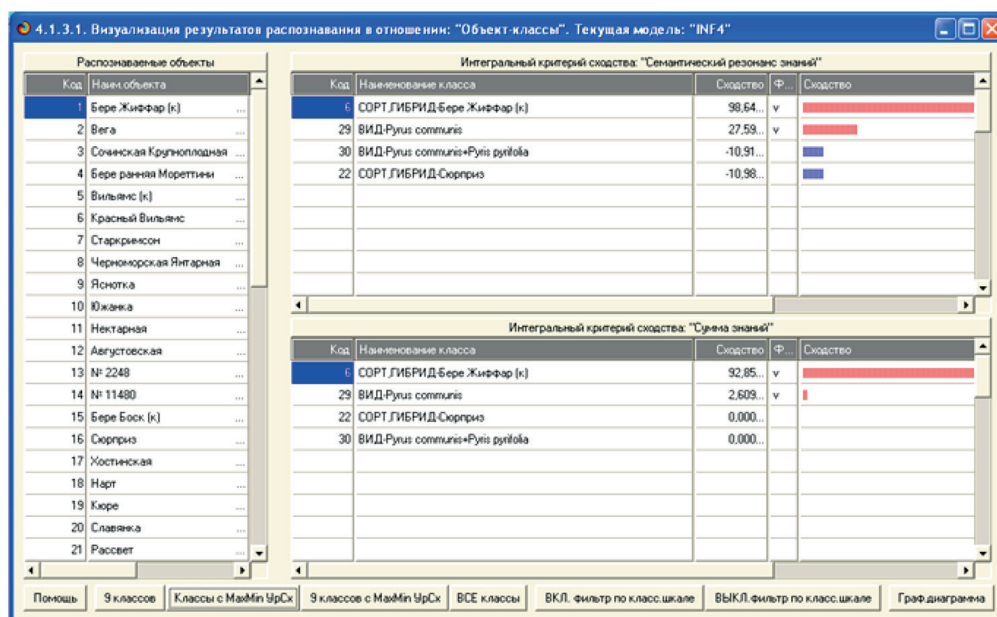
а)



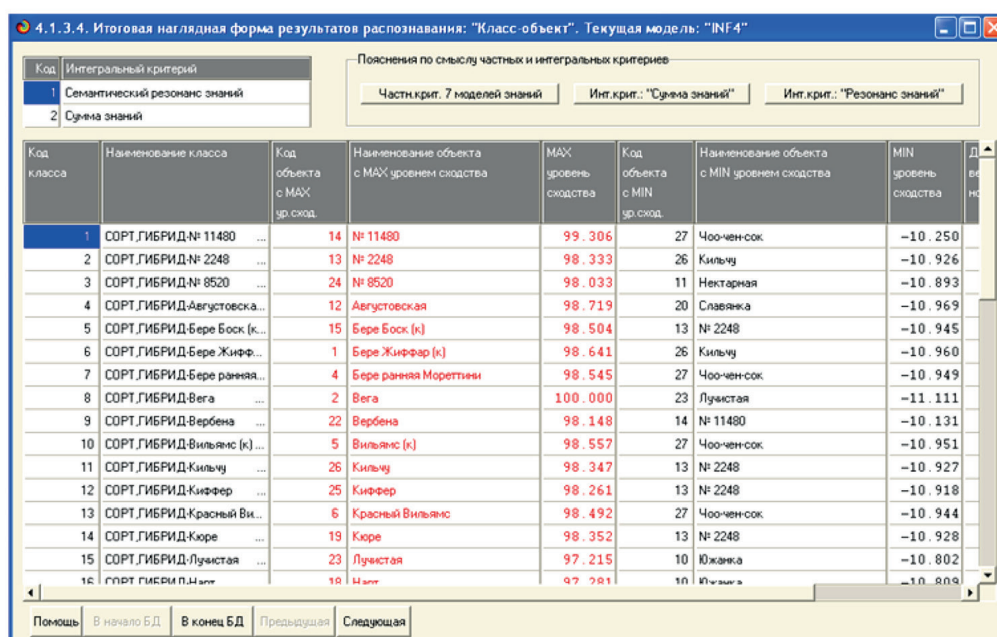
б)

Рис. 1.

а) Парето-кривая значимости влияния морфологических особенностей генотипов (классов), б) Парето-кривая степени детерминированности градаций описательных шкал (признаков)

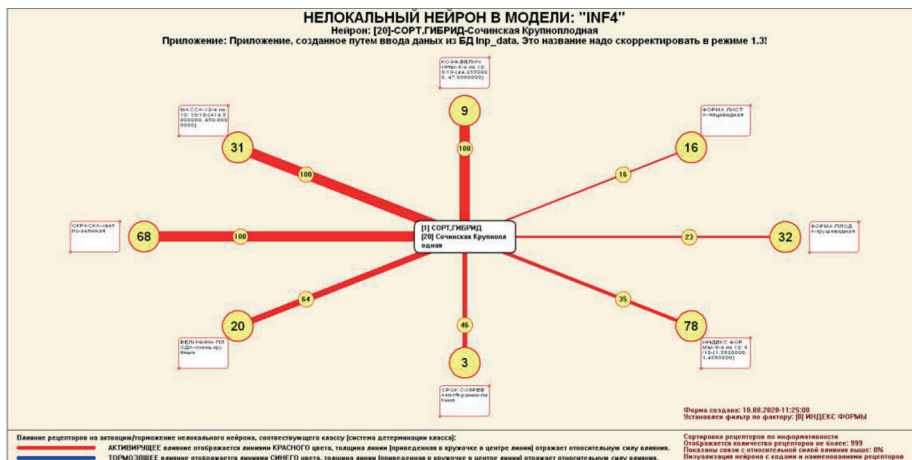


а)

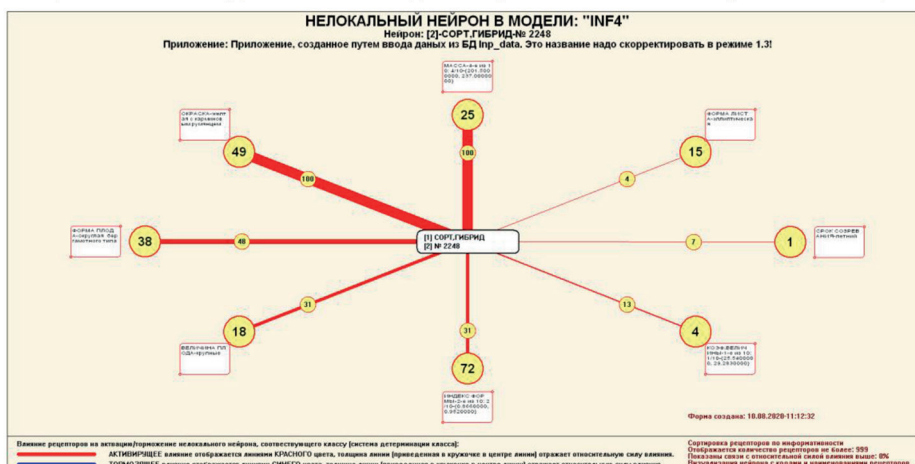


б)

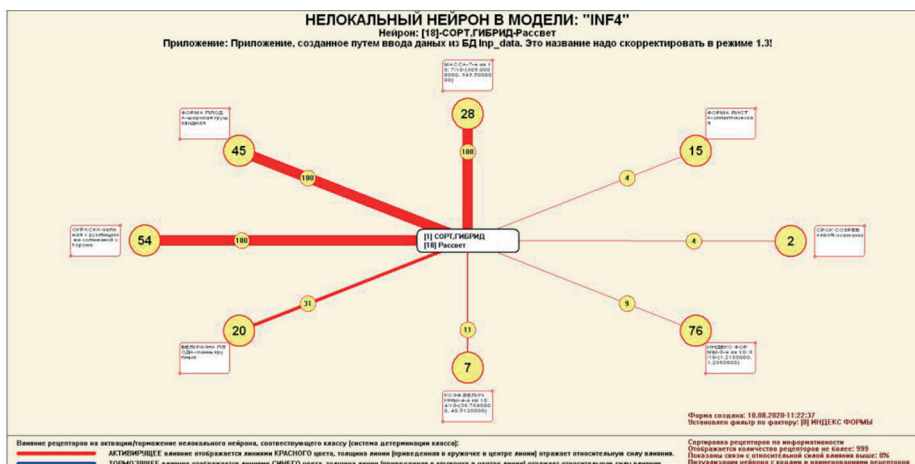
Рис. 2. Выходные формы по результатам прогнозирования количественных оценок морфологических признаков с учётом сроков созревания и вида на основе морфобиологических особенностей генотипов в модели INF4: а – Визуализация результатов распознавания «Объект-класс»; б – Итоговая форма визуализации результатов распознавания «Класс-объект»



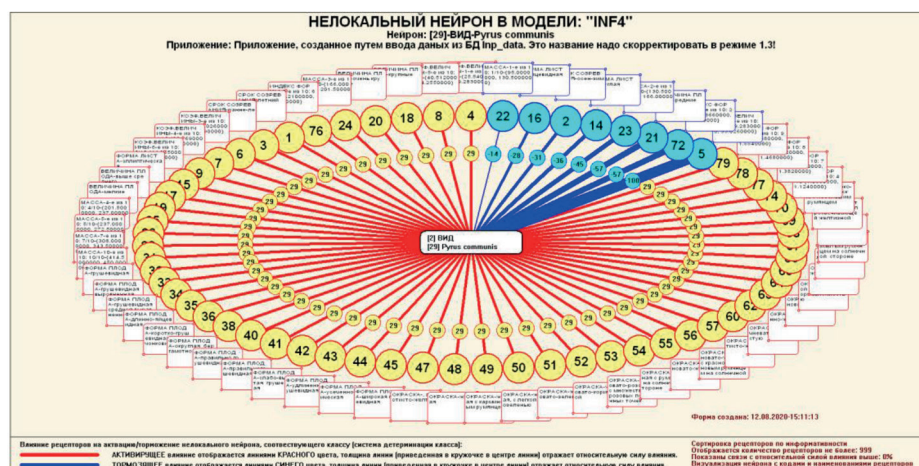
а) 'Сочинская Крупноплодная' (♀ 'Бонлуиз' × ♂ 'Спадоне', ранне-летний)



б) гибрид 2248 (♀ 'Память Конгресса' × ♂ 'Лесная красавица', летний)



в) 'Рассвет' (♀ 'Бере Боск' × ♂ 'Память Конгресса', осенне-зимний)



г) распределение силы влияния признаков группы *Pyrus communis* L.

Рис. 3. Графическое отображение нелокальных нейронов (классов), показывающих силу влияния морфологических признаков у генотипов груши (*Pyrus communis* L.) разного срока созревания плодов

Для выполнения диагностики, то есть прогнозирования степени сходства конкретных генотипов с обобщёнными образами классов по комплексу показателей плода и листа на основе обучающей выборки, в наиболее достоверной СК-модели INF4 запускается режим 4.1.2.

Вывод результатов распознавания проводится в режиме 4.1.3 с созданием 10 выходных форм на основе результатов этого прогнозирования. Эти формы отражают результаты прогнозирования в различных разрезах и обобщениях [5].

На рисунке 2 приведены две из этих 10 форм: а) 4.1.3.1 и б) 4.1.3.5. Символ «√» стоит против тех результатов прогнозирования, которые подтвердились на опыте, то есть соответствуют факту и действительно наблюдаются у данного генотипа груши.

В нашем примере достоверность идентификации и прогнозирования высоких товарных качеств по морфобиологическими особенностям составила 85,7 % (режим 4.1.3.6).

Для того, чтобы можно было говорить о выявлении силы связей в моделируемой предметной области, необходимо сравнивать корреляции в разных группах, в которых действие фактора не определено и при этом получить определённые результаты. Именно это сравнение и реализовано в автоматизированном системно-когнитивном анализе (АСК-анализ) [6], использующем 7 разных способов этого сравнения.

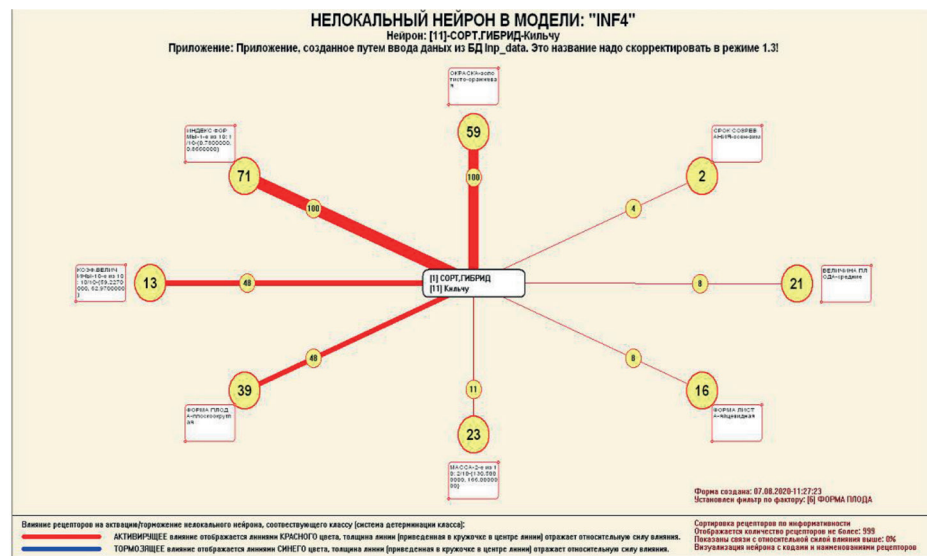
На представленной ниже схеме модели в режиме 4.4.10 нелокальный нейрон располагается в её центре (рис. 3). Он связан с двумя группами признаков-рецепторов, которые могут в первом случае активировать его, а во втором – тормозить. Таким образом, рецепторы являются факторами (причинами), действующими на нелокальный нейрон и вызывающими последствие.

На данной модели и последующих графических диаграммах цвет линии означает знак связи (красный – положительная, синий – отрицательная), а толщина – её модуль. Активирующее влияние отображается линиями красного цвета. Толщина линии отражает относительную силу влияния рецептора в процентах, которая приводится в кружочке в центре линии.

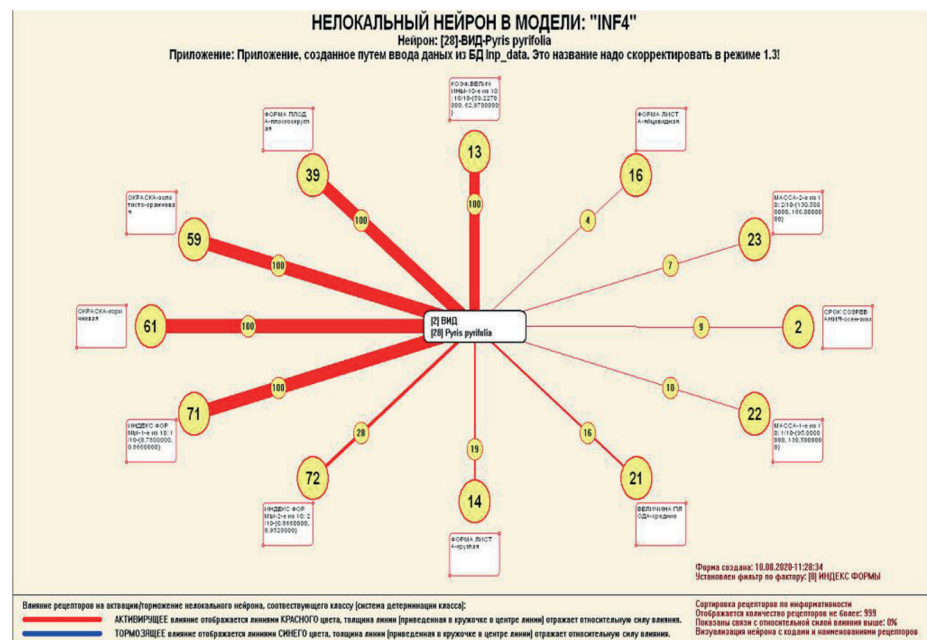
На модели рецепторы рассортированы по информативности, причём на схеме представлены только связи с относительной силой влияния выше 0 %.

На рисунке 3 показаны генотипы груши вида *Pyrus communis* L. разных сроков созревания. На графике 3а видно, что наибольшее влияние на классификационную особенность ранне-летнего сорта ‘Сочинская Крупноплодная’ оказали окраска плода, его масса и коэффициент величины листа. Сила влияния данных признаков (рецепторов) составила 100 %, что вполне объяснимо и подтверждает значимость генотипа в структуре изменчивости фенотипических морфологических особенностей. При этом величина плода составила 64 %, а форма и индекс 23–35 %. По срокам созревания ранне-летних сортов отмечено, что сила связи данного признака значительно превышает значения по группам летних и осенне-зимних сортов. Максимальная доля влияния рецепторов составила 100 % (у летних сортов – масса плода и его окраска, осенне-зимних – масса, окраска и форма плода).

На рисунке 4а видно, что наибольшее влияние на классификационную особенность сорта ‘Кильчу’ восточно-азиатской группы оказали индекс формы плода и его окраска (рис. 6). Сила влияния данных признаков (рецепторов) составила 100 %, сила влияния формы плода и коэффициента величины листа составила 48 %, а масса плода, характеризующая его величину – 10 %. Форма листовой пластинки и срок созревания составил 4–8 %. Рисунок 4б даёт общую картину по сортам вида *Pyrus pyrifolia*. Окраска, форма плода, её индекс и коэффициент величины листовой пластинки по силе влияния данных признаков составили 100 %. Полученный в модели результат может служить хорошей основой для идентификации и классификации изучаемых генотипов, что подтверждается полученными данными по всем группам (табл. 1).

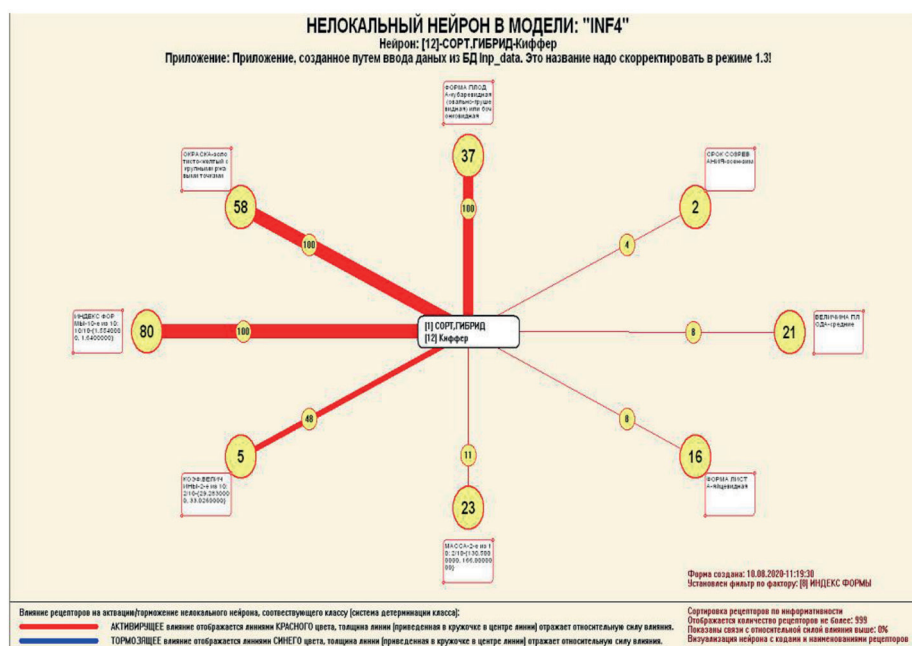


а)

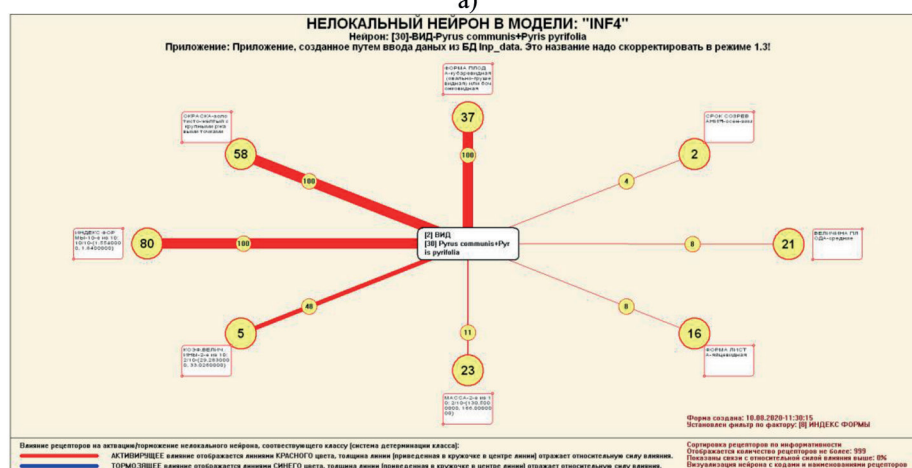


б)

Рис. 4. Графическое отображение нелокальных нейронов, показывающих силу влияния морфологических признаков на примере корейского сорта 'Кильчу' (а) осенне-зимнего срока созревания у генотипов груши *Pyrus pyrifolia* (б)



а)



б)

Рис. 5. Графическое отображение нелокальных нейронов на примере сорта ‘Киффер’, выведенного из семени уссурийской или китайской песчаной груши (♀), цветки которой по одним данным были случайно опылены (♂) пыльцой сорта ‘Бере Анжу’, по другим – пыльцой сорта ‘Вильямс’ (а), показывающих силу влияния морфологических признаков, размерных характеристик, срока созревания плодов (класс – *Pyrus communis* L. + *Pyrus pyrifolia*) (б)

На рисунке 5 показано графическое отображение группы осенне-зимних сортов (на примере сорта ‘Киффер’, вид *Pyrus communis* L. + *Pyrus pyrifolia*). Наибольшее влияние на классификационную особенность сорта оказали форма плода, индекс формы плода и его окраска. Сила влияния данных признаков составила 100 %, а коэффициент величины листа 48 %. У сорта ‘Нарт’ селекции Кабардино-Балкарской опытной станции садоводства (♀ ‘Киффер’ × ♂ ‘Лесная Красавица’ + ‘Бере Арданпон’ + ‘Бере Боск’) – форма плода и его окраска (100 %).

У всех изучаемых генотипов груши получена информация о том, какие морфологические признаки характеризуют их в большей степени (детерминируют), а какие препятствуют его проявлению (режим. 4.4.11, рис. 6).

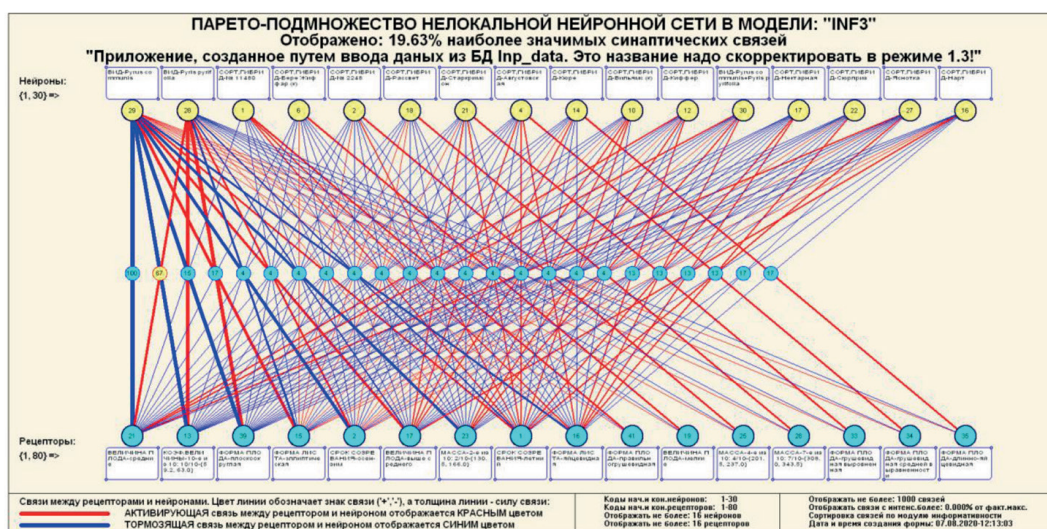


Рис. 6. Отображение Парето-подмножеств нелокальной нейронной сети, характеризующих силу связи изучаемых признаков генотипов груши

Полученный в модели результат может служить хорошей основой для идентификации и классификации изучаемых генотипов, все полученные данные о силе связи изучаемых признаков (доля влияния в общем комплексе признаков гентипа, %) сведены в общую таблицу.

Таблица 1

**Доля влияния морфологического признака
в общем комплексе по классам, генотип, вид**

Вид	Генотип	Признаки (сила связи, %)							
		плод						лист	
		срок созревания	окраска	форма	индекс формы	масса	величина	форма	коэф. величины
<i>Pyrus communis</i> L.		4	100	17	11	13	8	17	17
	11480	7	0	100	11	48	31	8	17
	2248	7	100	48	31	100	31	4	13
	8520	4	100	17	11	3	6	4	11
	‘Августовская’	7	100	100	31	3	6	8	11
	‘Бере Боск’	4	100	4	9	13	8	8	48
	‘Бере Жиффар’	22	100	4	9	13	100	4	13
	‘Нектарная’	7	100	100	9	48	31	8	31
	‘Рассвет’	4	100	100	9	100	31	4	11
	‘Славянка’	4	48	48	100	13	8	4	13
	‘Сочинская Круп- ноплодная’	46	100	13	35	100	64	16	100
	‘Старкримсон’	7	100	100	11	9	6	4	11
	‘Сюрприз’	4	100	17	17	48	31	8	11
	‘Хостинская’	4	100	17	17	9	6	8	17
	‘Красный Вильямс’	7	100	11	17	11	6	4	13
	‘Кюре’	4	100	100	9	3	6	22	17
	‘Лучистая’	4	48	48	100	9	6	4	31
	‘Бере ранняя Мореттини’	22	100	11	17	9	6	4	13
	‘Вега’	46	100	45	23	28	16	46	23
	‘Вербена’	4	100	11	9	11	6	4	11
	‘Вильямс’	7	100	11	9	11	6	4	13
	‘Черноморская Янтарная’	7	100	17	11	11	8	4	48
	‘Южанка’	7	100	11	9	11	8	22	11
	‘Яснотка’	7	100	100	11	13	8	4	17
<i>Pyrus pyrifolia</i>		9	100	100	28	7-10*	16	19	100
	‘Кильчу’	4	100	48	100	11	8	16	48
	‘Чоо-чен-сок’	7	100	17	11	11	8	4	48

<i>Pyrus communis</i> L. + <i>Pyrus pyrifolia</i>		4	100	100	100	11	8	8	48
	‘Нарт’	4	100	100	11	9	6	4	31
	‘Киффер’	4	100	100	100	11	8	8	48

Примечание: * – доля влияния такого рецептора (признака) как «масса плода» составила 7–10 % (7 % для массы плода от 100–120 г – средней величины; 10 % - оптимальная величина плодов среднего и выше среднего размера, массой 140-200 г.

Выводы. В результате проделанной работы установлено, что АСК-анализ подтверждает значимость генотипа в структуре изменчивости фенотипических морфологических особенностей и его можно с успехом использовать в селекционной работе для изучения доли влияния каждого морфологического признака и его проявления в генотипе. Ранне-летние сорта груши по признаку «сроки созревания плодов» выделяются силой связи, составляющей 22–46 %, значительно превышающей показатели по группам летних и осенне-зимних сортов. Сорт ‘Славянка’ (♀ ‘Деканка’ осенняя × ♂ ‘Бере Клержо’) выделяется 100%-ной силой связи по признаку «индекс формы» как источник округлой формы плода.

Таким образом, созданная модель для идентификации, классификации и апробации имеющихся в коллекции сортов, форм и гибридов груши на основе заданных морфологических признаков, даёт возможность прогнозирования и отбора при определенной системе садоводства как исходного материала для селекции по высоким товарным и другим не менее важным качествам, так и классификации сортов по плодам определенной формы и размерности.

Библиографический список

1. Бандурко И.А. Селекция груши на Майкопской опытной станции ВИР: матер. науч.-метод. конф., Орёл, 31 июля – 3 августа 2001 г. – Орёл: ВНИИСПК, 2001. – С. 7-8.
2. Ерёмин Г.В. и др. Общая и частная селекция и сортоведение плодовых и ягодных культур: учебник для вузов. – М.: Мир, 2004. – 422 с. – ISBN 5-03-003592-3.
3. Киселёва Н.С. Количественная оценка качества плода для селекции груши // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2015. – Вып. 52. – С. 41-48. – ISSN 2225-3068.
4. Киселёва Н.С. Количественное описание формы листовой пластинки генотипов коллекции груши как наиболее информативного признака листа для апробации сортов // Плодоводство и ягодоводство России. – 2018. – Вып. 55. – С. 189-194. – doi: 10.31676/2073-4948-2018-55-189-194.
5. Киселёва Н.С. Применение метода кластеризации в системно-когнитивном анализе и интеллектуальной системе «Эйдос» в селекции груши на заданные признаки // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2020. – № 61(1). – С. 16-32. – doi: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-16-32.

6. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и её применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2002. – 605 с.
7. Луценко Е.В. Проблемы и перспективы теории и методологии научного познания и автоматизированный системно-когнитивный анализ как автоматизированный метод научного познания, обеспечивающий содержательное феноменологическое моделирование // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2017. – № 03 (127). – С. 1-60. IDA [article ID]: 1271703001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf/01.pdf>
8. Потапов С.П. Наследование размера плода гибридными сеянцами груши // Известия ТСХА. – 1973. – Вып. 3. – С. 143-150.
9. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. – Орёл: ВНИИСПК, 1999. – 608 с. – ISBN 5-900705-15-3.
10. Программа Северо-Кавказского центра по селекции плодовых, ягодных, цветочно-декоративных культур и винограда на период до 2030 года / под ред. Егорова Е.А. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2013. – 202 с. – ISBN 972-5-98272-096-2.
11. Седов Е.Н. Помология. Том 2. Груша. Айва. – Орёл: ВНИИСПК, 2007. – 437 с. – ISBN 5-900705-33-1.
12. Щеглов С.Н. Применение биометрических методов для ускорения селекционного процесса плодовых и ягодных культур. – Краснодар: СКЗНИИСиВ; Кубанский гос. ун-т, 2005. – 106 с. – ISBN 5-8209-0383-8.

**CLASSIFICATION, IDENTIFICATION
AND TESTING OF PEAR GENOTYPES APPLYING
ASK-ANALYSIS METHOD**

Kiseleva N. S.

*Federal Research Centre
the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences,
Sochi, Russia, e-mail: nskiselyeva_05@mail.ru*

The paper studied ASK-analysis application and its software tools – intellectual systems "Eidos" for classifying, identifying and testing the cultivars and hybrids available in the collection and for establishing the relationships between pear morphological characteristics (size and shape of leaves, size, weight, shape of fruit and its index). The degree of similarity and differences between the indicators characterizing genotypes was studied. 3 statistical and 7 system-cognitive models were created, in which generalized images of classes were formed for quantitative and qualitative assessment of the complex of morphological features in pear genotypes. The most reliable model was INF4 with the integral criterion "Knowledge resonance", which was used to solve the forecasting problems (diagnostics, classification, recognition, identification).

Key words: pear, cultivar, genotype, fruit, leaf, power of communication, ASK-analysis.