

УДК 004. 8; 631. 52: 635. 627. 162

05.00.00 Технические науки
06.00.00 Сельскохозяйственные науки**МОБИЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ
ФИТОПАТОЛОГА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ
ЭКСПРЕСС - ОЦЕНКИ В УСЛОВИЯХ ПОЛЯ
СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ ЛИСТЬЕВ ОЗИМОГО
ЯЧМЕНЯ ПЯТНИСТОСТЯМИ НА ОСНОВЕ
СПЕКТРАЛЬНОГО АСК-АНАЛИЗА И СИСТЕМЫ
«ЭЙДОС»**Астапчук Ирина Леонидовна
аспирант кафедры генетики, селекции и семеноводства

SPIN-код= 8684-6159

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина», 350044, г., ул.
Калинина, 13, Краснодар, Россия*
irina_astapchuk@mail.ru

Оценка ячменя на поражение пятнистостями, традиционно осуществляется методом визуального определения степени поражения листа с помощью имеющихся в распоряжении эксперта – фитопатолога шкалами учета, которые позволяют в условиях поля охарактеризовать сортообразец на предмет устойчивости или восприимчивости к изучаемой болезни. Этот метод отличается рядом недостатков, которые предлагается преодолеть путем разработки нового инструмента фитопатолога. Измерительный инструмент фитопатолога должен обеспечивать высокую точность оценки степени поражения растения болезнью, а сама процедура измерения должна быть быстрой и нетрудоемкой. Целью работы является разработка мобильного инструмента фитопатолога для количественной экспресс-оценки в условиях поля степени поражения листьев озимого ячменя пятнистостями. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: Задача 1: сформулировать идею и концепцию решения проблемы; Задача 2: обосновать выбор метода и инструмента решения проблемы; Задача 3: применить выбранный метод и инструмент для решения проблемы, т.е. выполнить следующие этапы: – когнитивная структуризация предметной области; – формализация предметной области; – синтез и верификация модели; – повышение качества модели и выбор наиболее достоверной модели – решение в наиболее достоверной модели задач диагностики (классификации, распознавания, идентификации), поддержки принятия решений и исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели. Задача 4: описать эффективность предложенного решения проблемы. Задача 5: рассмотреть ограничения и недостатки предложенного решения проблемы и перспективы его развития путем их преодоления этих ограничений и недостатков. Приводится развернутый численный пример решения поставленных задач на реальных данных путем примене-

UDC 004. 8; 631. 52: 635. 627. 162

Engineering
Agricultural sciences**MOBILE TOOLS OF A PHYTOPATHOLOGIST
FOR QUANTITATIVE FAST ASSESSMENT OF
WINTER BARLEY LEAVES DAMAGE WITH
BARLEY BLOTCH IN FIELD CONDITIONS BASED
ON SPECTRAL ASC-ANALYSIS AND "EIDOS"
SYSTEM**Astapchuk Irina Leonidovna
postgraduate student of the Department of Genetics,
Breeding and Seed
RSCI SPIN-code= 8684-6159
*FSBEI of HE «Kuban State Agrarian University by I.T.
Trubilin», 350044, Kalinina st., 13, Krasnodar, Russia*irina_astapchuk@mail.ru

Assessment of barley for the blotch incidence is traditionally carried out by visual determination of leaf damage with the help of the available expert – phytopathologist, and with the account scales which allows to characterize a variety for resistance or susceptibility to the studied disease in field conditions. This method has a number of disadvantages that are proposed to be overcome by developing a new tool of a phytopathologist. The measuring tool of a phytopathologist should provide high accuracy of the assessment of plants damage caused by the disease, and the measurement procedure should be quick and easy. The aim of this work is to develop a mobile tool of a phytopathologist for quantitative fast assessment of winter barley leaves damage caused by blotch in field conditions. To achieve this goal the following tasks should be fulfilled. Objective 1: introduce the idea and concept of problem solution; Objective 2: justify the choice of method and solution tool; Objective 3: apply the selected method and tool to solve problems, i.e. to perform the following steps: – cognitive structuring of the subject area; – formalization of the subject area; – synthesis and verification of models; – improvement of the quality of the model and choice of the most reliable model – solving diagnostics problems within the most reliable model (classification, recognition, identification), decision support and research of the simulated subject area by studying its model. Objective 4: describe the effectiveness of the proposed solution. Objective 5: examine the limitations and disadvantages of the proposed solutions of the problem and prospects of its development by overcoming those limitations and disadvantages. The article provides a detailed numerical example of the solution of tasks on real data processed with the ASC- analysis and "Eidos" system

ния АСК-анализа и системы «Эйдос»

Ключевые слова: АСК-АНАЛИЗ (АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИСТЕМНО – КОГНИТИВНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ), СИСТЕМА «ЭЙДОС», ОЗИМЫЙ ЯЧМЕНЬ, СЕТЧАТАЯ ПЯТНИСТОСТЬ, ТЕМНО-БУРАЯ ПЯТНИСТОСТЬ

Keywords: ASC-ANALYSIS (AUTOMATED SYSTEM - COGNITIVE ANALYSIS), "EIDOS" INTELLECTUAL SYSTEM, WINTER BARLEY, NET BLOTCH, DARK-BROWN BLOTCH

Doi: 10.21515/1990-4665-131-031

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ	2
2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ.....	4
3. ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МЕТОДУ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ.....	5
4. ТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ.....	5
5. НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЕГО СООТВЕТСТВИЯ ОБОСНОВАННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	6
6. АКТУАЛЬНОСТЬ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	6
7. ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ ПОСТАВЛЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ.....	7
7.1. ИДЕЯ И КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ (ЗАДАЧА 1)	7
7.2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА И ИНСТРУМЕНТА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ (ЗАДАЧА 2).....	8
7.3. ПРИМЕНЕНИЕ ВЫБРАННОГО МЕТОДА И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ (ЗАДАЧА 3).....	9
7.3.1. Когнитивно-целевая структуризация предметной области	10
7.3.2. Формализация предметной области и описание исходных данных.....	10
7.3.3. Синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей.....	17
7.3.3.1. Синтез моделей.....	17
7.3.3.2. Верификация моделей.....	18
7.3.4. Повышение качества модели и выбор наиболее достоверной модели.....	19
7.3.5. Диагностика степени поражения пятнистостью листьев озимого ячменя.....	20
7.3.5.1. Спектры исходных изображений	20
7.3.5.2. Обобщенные спектры классов	30
7.3.5.3. Экранные формы с результатами диагностики	36
7.3.6. Исследование моделируемой предметной области путем исследования ее модели.....	38
7.3.6.1. Информационные портреты классов и признаков	38
7.3.6.2. SWOT-анализ.....	40
7.3.6.3. Нелокальная нейронная сеть и нейроны.....	42
7.3.6.3. Кластерно-конструктивный анализ.....	43
7.3.6.5. Интегральные когнитивные карты	48
7.3.6.6. Когнитивные функции	50
8. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ (ЗАДАЧА 4).....	52
9. ОГРАНИЧЕНИЯ И НЕДОСТАТКИ ПРЕДЛОЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ ПУТЕМ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЭТИХ ОГРАНИЧЕНИЙ И НЕДОСТАТКОВ (ЗАДАЧА 5).....	52
10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	52
ЛИТЕРАТУРА	53

1. Описание предметной области

Одной из важных зернофуражных культур в Краснодарском крае является озимый ячмень. Обладая высоким потенциалом продуктивности, имея сравнительно короткий вегетационный период и быстрый темп развития озимый ячмень, является незаменимой культурой в севообороте каждого сельхозпроизводителя. Ежегодно в России валовой сбор зерна ячменя составляет от 18 до 20

млн. тонн. В целом по Краснодарскому краю площади под озимым ячменем занимают 250-300 тыс. га (Шевцов, 2008; Сельское хозяйство..., 2015).

Потребность сельского хозяйства в кормах, пищевой и пивоваренной промышленности в сырье ставит задачи по созданию новых высокоадаптивных сортов, которые при неблагоприятных погодных условиях способны формировать достаточно высокую урожайность и отличаться хорошими показателями качества зерна (Жученко, 2001).

Одним из лимитирующих факторов получения высоких урожаев качественного зерна кормового и пивоваренного ячменя в основных зонах его возделывания являются болезни, вызываемые гембиотрофными патогенами. К их числу относятся гельминтоспориозные пятнистости: сетчатая (возбудитель - аскомицет *Pyrenophora teres* Drechs. (анаморфа: *Drechslera teres* Sacc. (Shoem.) = *Helminthosporium teres*) и темно-бурая (возбудитель - аскомицет *Cochliobolus sativus* (Ito et Kurib.) Drechsler ex Dastur., и анаморфа: *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. = *Drechslera sorokiniana* (Sacc.) Subram. et P.C. Jain, *Helminthosporium sorokinianum* Sacc., *H. sativum* Pammel, C.V. King et Bakke (Дьяков, 2003).

Снижение урожайности при сильном развитии пятнистостей может достигать 36,8–50% и более, количества колосьев — до 15%, количества зерен в колосе — 20%, а сбора соломы — 32% и более (Jayasena et al., 2007; Murray, Brennan, 2009; Саладунова О.А. и др., 2011; www3.syngenta.com). Эпифитотии сетчатой и темно-бурой пятнистостей происходят с частотой 1 раз в 3-4 года (Афанасенко, 2010).

Вредоносность пятнистостей листьев ячменя проявляется в резком уменьшении фотосинтетической активности и - как следствие этого - в уменьшении размера и количества зерен в колосе (Smedegard-Petersen, 1974; Кушнirenко, 1987; Khan, 1989; Хасанов, 1992; Кашемирова, 1995), а также в токсигенном действии возбудителей на растение (Piening, Kaufmann, 1969). Потери урожая на восприимчивых сортах достигают 40–45 % (Steffenson, 1988; Хасанов, 1992; Кашемирова, 1995; Jayasena et al., 2007).

Наиболее чёткие симптомы, соответствующие названию «сетчатая» пятнистость проявляются на проростках. Обычно на вершине листа или посредине появляется типичное сетчатое пятно, когда коричневые штрихи образуют на зелёном или хлоротичном фоне рисунок сетки. В период кущения ячменя, пятна обнаруживаются в основном на нижних листьях, на верхних же они единичны.

На взрослых растениях симптомы сетчатой пятнистости сильно варьируют в зависимости от сорта. На некоторых из них проявление заболевания возможно в виде коричневых с боковыми ответвлениями чётрочек. Такие множественные, локальные повреждения дают общую картину сетки на всём листе. На листьях большинства сортов образуются преимущественно коричневые полосы 1-3 см длины и 0,3-0,5 см ширины, сливающиеся при сильном поражении. Нижние листья поражаются сильнее и быстро отмирают (рис.1), (Афанасенко, 1997; Ишкова, Чумаков, 2005).



Рис. 1 – Пораженный сетчатой пятнистостью лист озимого ячменя net-форма (оригинал) и spot-форма (Текауз, 2011)

Тёмно-бурой пятнистостью поражаются все части растения. На листьях болезнь проявляется в виде округлых или продолговатых коричневых некрозов с хлоротичным окаймлением или без него. Проявление болезни в виде продолговатых пятен часто приводит к ошибочной диагностике её как сетчатой пятнистости. Характерной особенностью тёмно-бурой пятнистости является наличие тёмного (почти чёрного) участка в центре полоски (рис.2), (Афанасенко, 1987, 1997).

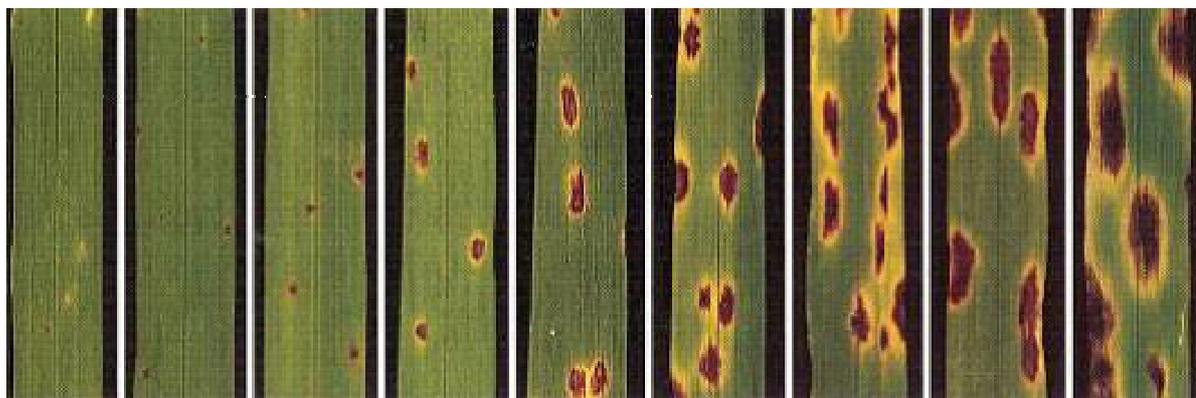


Рис.2 Пораженные листья ячменя темно-бурой пятнистостью (Fetch, Steffenson, 1999)

2. Постановка проблемы

Проблема – это *несоответствие* желаемого и действительного, т.е. *противоречие* между фактическим и целевым положением дел.

Из приведенного выше краткого описания исследуемой предметной области ясно, что фитопатологу **необходим** современный удобный, надежный и точный измерительный инструмент, обеспечивающий в условиях поля экспресс-оценку степени устойчивости/восприимчивости сортообразца к изучаемой болезни, однако, в настоящее время такой инструмент **отсутствует**.

В этом и состоит **проблема**, решаемая в данной работе.

3. Обоснование требований к методу решения проблемы

Очевидно, *измерительный инструмент фитопатолога* должен обеспечивать *высокую точность* оценки степени поражения растения болезнью, а сама процедура измерения степени поражения должна быть быстрой и нетрудоемкой.

4. Традиционный подход к решению проблемы

Оценка ячменя на поражение пятнистостями, осуществляется методом визуального определения степени поражения листа с помощью имеющихся в распоряжении эксперта – фитопатолога шкалами учета (рис. 3, таблица 1), которые позволяют в условиях поля охарактеризовать изучаемый сортообразец на предмет устойчивости или восприимчивости к изучаемой болезни.

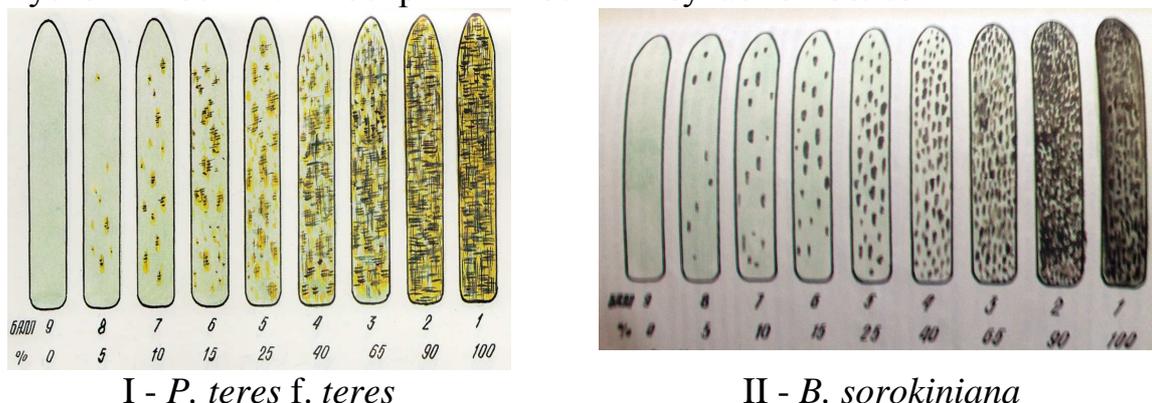


Рисунок 3. Шкала оценок интенсивности поражения листьев ячменя (Л. Бабаянц и др. 1988);

Таблица 1 – Шкала оценок интенсивности поражения листьев ячменя сетчатым гельминтоспориозом по Бабаянц и др.

% поражения	Характер проявления болезни	Характеристика устойчивости, восприимчивости
0	Точечные некрозы без хлороза	Очень высокая и высокая устойчивость
5	Точечные некрозы с очень малозаметными признаками хлороза	
10	Некротические коричневые пятна с хлоротичным окаймлением или без хлороза, не распространяющиеся по отрезку листа	Устойчивость
15	Некротические коричневые пятна с хлоротичным окаймлением или без хлороза, с очень малозаметными признаками распространения по листу	
25	Некротические пятна, активно распространяющиеся по листу с хлоротичным окаймлением	Слабая восприимчивость
40	Некротические пятна, начинающие распространяться по листу с хлоротичным окаймлением	Восприимчивость
65	Коричневый некроз занимает третью часть листа	
90	Коричневый некроз занимает половину листа	Высокая и очень высокая восприимчивость
100	Коричневый некроз занимает почти весь лист	

Из таблицы 1 мы видим, что традиционная шкала относится к порядковым шкалам и имеет 5 интервальных значений, границы которых количественно не определены [12].

5. Недостатки традиционного подхода к решению проблемы и оценка степени его соответствия обоснованным требованиям

1. Высокая трудоемкость (значительные затраты труда и времени для измерения).

2. Низкая точность:

– из-за применения порядковой шкалы, включающей всего 5 градаций (интервальных значений), границы которых количественно не определены;

– из-за человеческого фактора, т.е. явных субъективных ошибок при определении степени поражения, что приводит к неприемлемо сильной зависимости результатов оценки не только от степени поражения листьев, но и от опыта эксперта;

3. Отсутствие адаптивности, т.е. возможности самостоятельного совершенствования традиционной методики как с целью преодоления названных выше недостатков, а так для ее районирования и настройки на различные типы поражений (болезни), расы патогенов, сорта ячменя и других растений.

6. Актуальность, цель и задачи исследования

Мы видим, что недостатки традиционного решения довольно существенные, а значит *актуальными* является усилия исследователей и разработчиков по их преодолению. Этим самым и будет решена поставленная в работе *проблема*.

Поэтому *целью работы* является разработка мобильного инструмента фитопатолога для количественной экспресс-оценки в условиях поля степени поражения листьев озимого ячменя пятнистостями.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

Задача 1: сформулировать идею и концепцию решения проблемы;

Задача 2: обосновать выбор метода и инструмента решения проблемы;

Задача 3: применить выбранный метод и инструмент для решения проблемы, т.е. выполнить следующие этапы:

– когнитивная структуризация предметной области;

– формализация предметной области;

– синтез и верификация модели;

– повышение качества модели и выбор наиболее достоверной модели

– решение в наиболее достоверной модели задач диагностики (классификации, распознавания, идентификации), поддержки принятия решений и исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели.

Задача 4: описать эффективность предложенного решения проблемы.

Задача 5: рассмотреть ограничения и недостатки предложенного решения проблемы и перспективы его развития путем их преодоления этих ограничений и недостатков.

Ниже рассмотрим решение этих задач.

7. Предлагаемое решение поставленной проблемы

7.1. Идея и концепция решения проблемы (задача 1)

Идея решения проблемы состоит в применении для этой цели современных ИТ-технологий, которых просто не существовало в период разработки традиционного подхода.

В последнее время эти технологии все шире применяются в различных сферах сельского хозяйства, например, таких как точное земледелие, обследование сельскохозяйственных угодий на основе спектрозональной съемки и ее анализа; Беспилотные летательные аппараты находят применение в экологическом мониторинге, в оценке динамики экзогенных геологических процессов, в инвентаризации объектов лесного хозяйства, в оценке объемов вырубки леса, мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий др.; Виртуальные приборы для определения площади листовой поверхности (Дмитриев, 2016), определение по контурам листа сорта винограда (Луценко, 2015), анализ по контурам видов насекомых (Луценко, 2016) др.

Концепция решения проблемы конкретизирует сформулированную выше идею и заключается в применении технологий искусственного интеллекта для создания мобильного инструмента фитопатолога для количественной экспресс-оценки в условиях поля степени поражения листьев озимого ячменя пятнистостями на основе спектрального анализа изображений листьев.

В качестве виртуального прибора предлагается применить *планшет на MS Windows*, позволяющий запускать любое программное обеспечение под Windows и имеющий камеру для получения в условиях поля качественных (с высоким разрешением и хорошей глубиной цвета) изображений листьев, а также обеспечивающий доступ в Internet (рисунок 4).



Рисунок 4. Планшет и его возможности

Если в точке поля, где фитопатологу необходимо провести измерения, есть доступ в Internet, то планшет может быть использован в качестве фотоаппарата для съемки листьев и передачи их изображений на основной компьютер, а также в качестве терминала для удаленного управления основным компьютером с помощью программы *TeamViewer*. Эта программа обеспечивает удобную работу на удаленном компьютере с мобильного устройства.

Если в точке поля, где фитопатологу необходимо провести измерения, нет доступа в Internet, то планшет обеспечивает запуск и использование для измерения необходимых программ локально.

Система искусственного интеллекта, обеспечивающая спектральный анализ конкретных изображений и формирование обобщенных спектров групп изображений (классов), может быть применена для:

- создания моделей, отражающих зависимость спектральных характеристик листьев озимого ячменя от степени их поражения пятнистостью;
- применения этих моделей для диагностики степени поражения конкретных листьев.

По *гипотезе* авторов это обеспечит преодоление всех перечисленных выше недостатков традиционного подхода:

1. Понижит затраты труда и времени для измерения.
2. Повысит точность измерений за счет:
 - применения числовых шкал измерений с любым заданным количеством интервальных значений спектра (численные эксперименты проводились с числом цветов в спектре от 7 до 350);
 - исключения человеческого фактора, т.е. субъективных ошибок при определении степени поражения, что обеспечит зависимость результатов оценки только от степени поражения ячменя и снимет зависимость от опыта фитопатолога;
3. Обеспечит адаптивность измерительного инструмента за счет возможности его самостоятельного совершенствования как для его районирования и настройки на различные типы поражений (болезни) и сорта ячменя, так и для других растений. Это позволит формировать, расширять и совершенствовать базы данных для принятия решений (модели) с учетом потребностей конкретного пользователя (эксперта).

7.2. Обоснование выбора метода и инструмента решения проблемы (задача 2)

Автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) разработан проф. Е.В. Луценко в 2002 году для решения широкого класса задач идентификации, прогнозирования, классификации, диагностики, поддержки принятия решений и исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели. АСК-анализ имеет программный инструментарий – универсальную когнитивную аналитическую систему «Эйдос» (система «Эйдос»).

Система «Эйдос» находится в полном открытом бесплатном доступе на сайте автора по адресу: <http://lc.kubagro.ru/aidos/Aidos-X.htm> и реализована в универсальной постановке, не зависящей от предметной области. Система имеет около 30 встроенных локальных учебных приложений и более 70 облачных Эйдос-приложений учебного и научного характера.

Математическая модель системы «Эйдос» основана на системной нечеткой интервальной математике и обеспечивает сопоставимую обработку больших объемов фрагментированных и зашумленных взаимозависимых данных, представленных в различных типах шкал (номинальных, порядковых и числовых) и различных единицах измерения. Система обеспечивает построение информационно-измерительных систем в различных предметных областях (Луценко, 2013), в частности АСК-анализ изображений (Луценко, 2016). В системе «Эйдос» реализован программный интерфейс, обеспечивающий автоматизированный ввод в систему изображений и выявление спектральных характеристик как конкретных изображений, так и обобщенных образов классов, т.е. обобщенных изображений, построенных на основе нескольких конкретных (Луценко, 2017), что позволяет:

1. Измерять спектры графических объектов (т.е. точно определять цвета, присутствующие в изображении).

2. Формировать обобщенные спектры классов. При этом рассчитывается количество информации в каждом цвете обобщенного спектра класса о принадлежности конкретного объекта с этим цветом в спектре к данному классу.

3. Сравнить конкретные объекты с классами по их спектрам. При этом рассчитывается суммарное количество информации в цветах спектра конкретного объекта о его принадлежности к обобщенному образу класса.

4. Сравнить классы друг с другом по их спектрам.

В качестве спектра изображения в системе рассматривается доля пикселей разных цветов в общем числе пикселей изображения без учета фона.

Путем многопараметрической типизации в системе создается системно-когнитивная модель, с применением которой, если модель окажется достаточно достоверной, могут решаться задачи системной идентификации, прогнозирования, классификации, поддержки принятия решений и исследования моделируемого объекта путем исследования его модели (Луценко, 2015, 2015).

Всем этим и обусловлен выбор АСК-анализа и системы «Эйдос» в качестве инструментария решения поставленной проблемы.

7.3. Применение выбранного метода и инструмента для решения проблемы (задача 3)

Решение задачи 3 предполагает выполнение следующих этапов, стандартных для АСК-анализа:

- когнитивная структуризация предметной области;
- формализация предметной области;

- синтез и верификация модели;
- повышение качества модели и выбор наиболее достоверной модели
- решение в наиболее достоверной модели задач диагностики (классификации, распознавания, идентификации), поддержки принятия решений и исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели.

Все эти этапы АСК-анализа, за исключением 1-го, автоматизированы в системе «Эйдос». Рассмотрим их в порядке исполнения.

7.3.1. Когнитивно-целевая структуризация предметной области

На этапе когнитивно-целевой структуризации предметной области мы решаем на качественном уровне, что будем рассматривать в качестве факторов, действующих на моделируемый объект (причин), а что в качестве результатов действия этих факторов (последствий).

В данной работе мы собираемся на основе оптического спектра листьев озимого ячменя определять степень поражения этих листьев пятнистостью.

Соответственно, для формализации задачи, выполняемой на следующем этапе АСК-анализа, мы будем использовать две шкалы:

- классификационная шкала: «Степень поражения пятнистостью (%)»;
- доля цветов оптического спектра в изображении листьев.

7.3.2. Формализация предметной области и описание исходных данных

Формализация предметной области – это этап АСК-анализа, на котором сначала разрабатываются классификационные и описательные шкалы и градации, а затем с помощью них исходные данные кодируются к такой форме, которая удобна для дальнейшей обработки в системе «Эйдос», т.е. для синтеза и верификации моделей, т.е. формируются обучающая выборка и база событий.

Эта удобная для обработки в системе форма представления данных называется «нормализованные базы данных», а содержание этапа формализации предметной области, по сути, представляет собой нормализацию исходных баз данных.

В системе «Эйдос» есть много программных интерфейсов с внешними источниками данных (рисунок 5), которые можно объединить в три группы:

- интерфейсы с текстовыми данными;
- интерфейсы с табличными данными;
- интерфейсы с графическими данными.

В будущем планируется расширить типы данных для программных интерфейсов.

Для удобства пользователей использование некоторых из интерфейсов с графическими данными дублируются в подсистемах: 4.7. АСК-анализ изображений и 4.8. Геокогнитивная система.

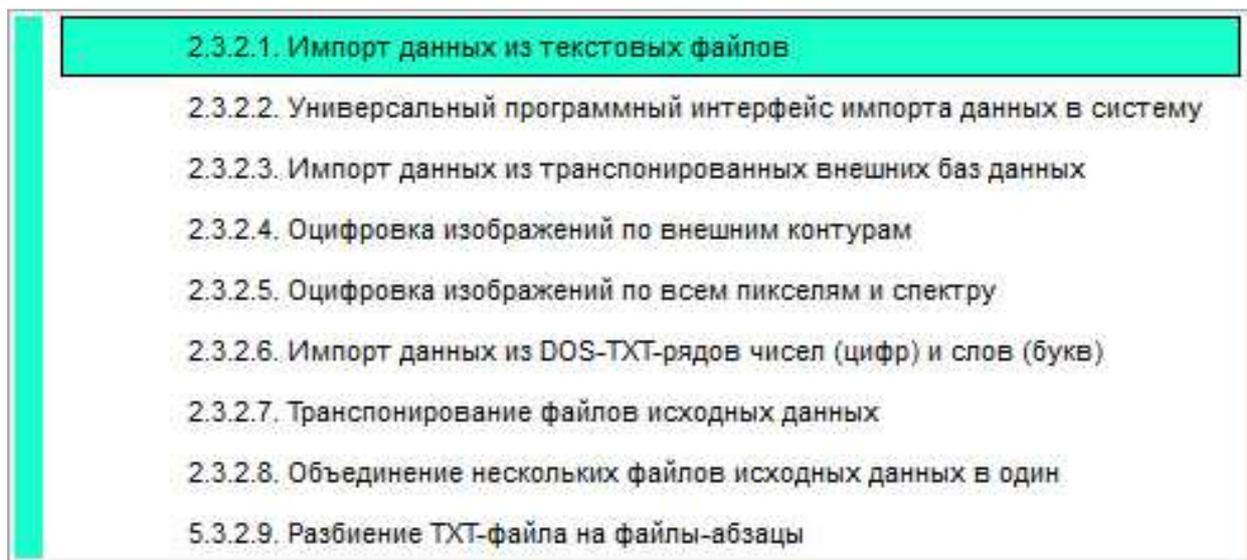
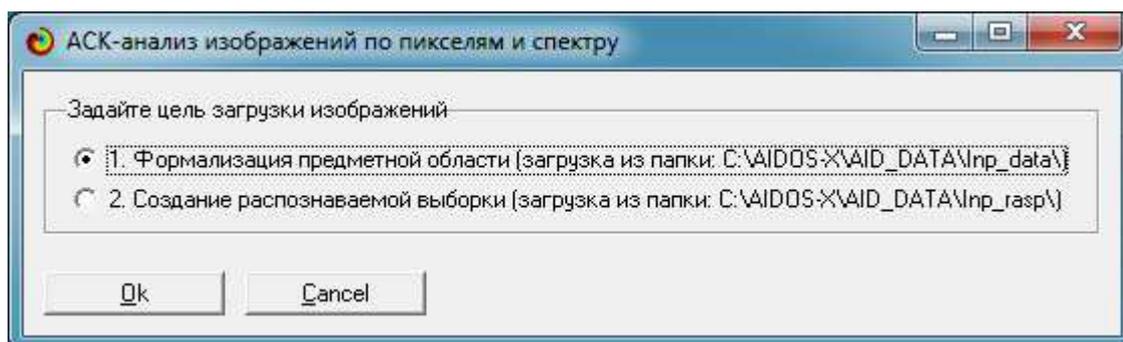


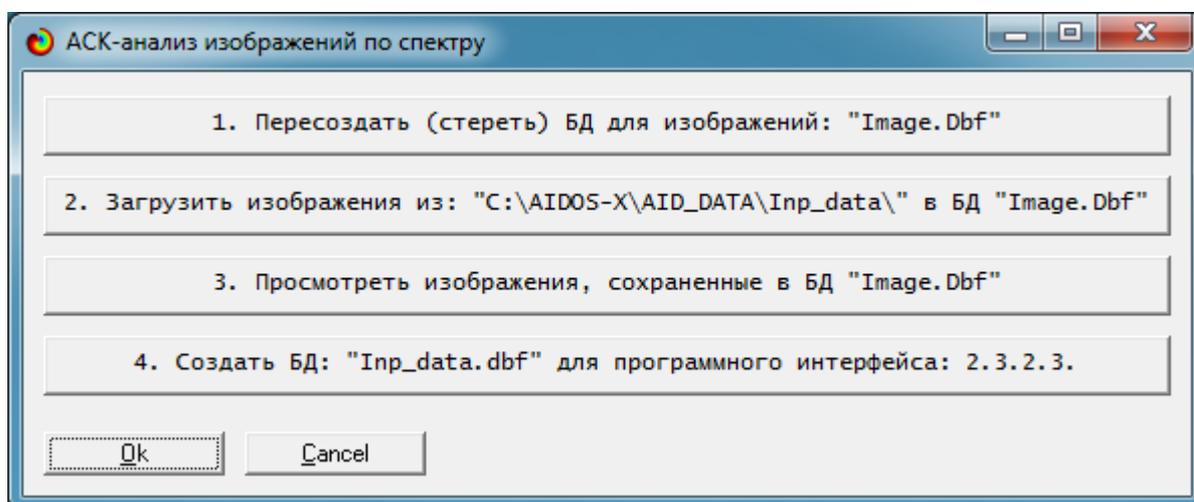
Рисунок 5. Программные интерфейсы, вызываемые в режиме 2.3.2 системы «Эйдос».

Запустим интерфейс 2.3.2.5. и в появившемся окне:



выберем 1-й пункт, обеспечивающий формализацию предметной области. Отметим, что 2-й пункт используется при применении созданных моделей на практике.

Появится окно:



Необходимо выполнить все пункты этого окна по очереди, за исключением 3-го, который является необязательным.

При выполнении 2-го пункта изображения загружаются в базу данных из папки: ..\Aidos-X\AID_DATA\Inp_data\, в которую они должны быть предварительно помещены.

Фон изображений влияет на результаты их анализа, поэтому его надо предварительно удалить. Удобнее всего это сделать в on-line редакторе:

- инструкция: <http://www.liveinternet.ru/users/karina-1952/post367506106>;

- сам редактор: <https://pixlr.com/editor/>.

Для обработки удобнее всего загружать сразу все изображения, а потом после удаления фона записывать их и закрывать.

Для решения поставленной задачи использовались 30 сканированных на светлом фоне с одинаковым разрешением изображения листьев озимого ячменя сорта Павел, пораженных сетчатой пятнистостью (в естественных условиях) от 0 до 80 %, который определили по шкале учета самостоятельно (рисунок 6).

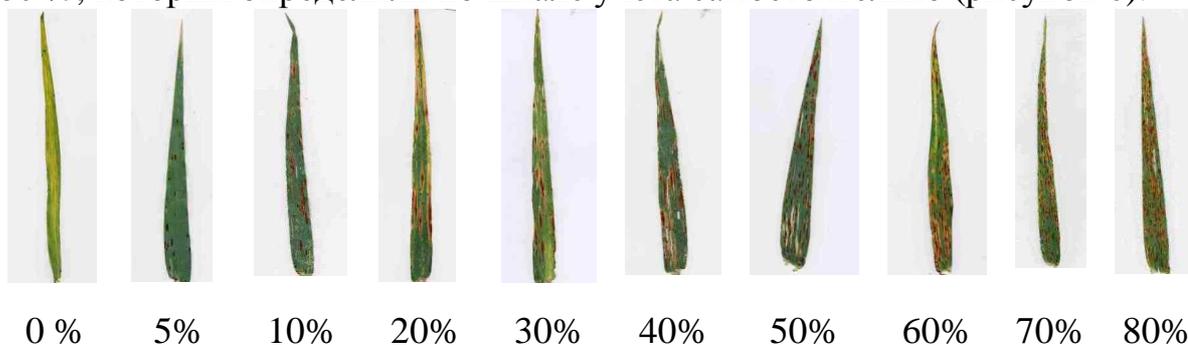


Рисунок 6 Пораженные листья озимого ячменя сетчатой пятнистостью (поле УЧХОЗ Кубань 2017г.)

В качестве спектра изображения в системе рассматривается доля пикселей разных цветов в общем числе пикселей изображения без учета фона (Луценко, 2017).

Данный режим обеспечил:

- ввод изображений в систему по пикселям (для этого выполнить первые два режима подготовки данных);
- измерение спектров изображений с заданным числом цветовых диапазонов (цветовых интервалов) (выполнить 4-й режим подготовки данных);
- рассмотрение характеристик спектра конкретных изображений как их признаков при формировании моделей (наряду с пикселями);
- вывод исходных изображений с их спектрами на экран и запись в виде файлов в папку: ..\AID_DATA\InpSpectrPix\.
- формирование обобщенных спектров изображений, относящихся к различным группам, классам (обобщенные спектры классов);
- количественное сравнение конкретных изображений по их спектрам с обобщенными спектрами классов, т.е. решение задачу идентификации (классификации, диагностики, распознавания, прогнозирования);

- количественное сравнение обобщенных спектров классов друг с другом и решение задач кластерно-конструктивного анализа;

Исходные изображения должны быть в формате jpg или bmp и находиться непосредственно в папке: ../Aid_data/Inp_data/, если ставится цель формализации предметной области и синтеза модели, и в папке: ../Aid_data/Inp_rasp/, если ставится цель формирования распознаваемой выборки.

Для режимов спектрального анализа изображений не важно, как они масштабированы и повернуты, но желательно, чтобы они были без фона. Пакетные on-line сервисы, обеспечивающие "оконтуривание и удаление фона" изображений можно найти в Internet по запросу, который в кавычках.

Система работает с графическими файлами jpg и bmp. Желательно, чтобы файлы имели не более 400 пикселей по горизонтали и вертикали, т.к. иначе они могут неверно отображаться на экране и время обработки может сильно затянуться, т.к. идет попиксельный анализ графических файлов.

Имена графических файлов должны иметь следующий вид:

– ячмень 00%-01.jpg, ячмень 00%-02.jpg, ячмень 00%-03.jpg, ячмень 00%-04.jpg, ячмень 00%-05.jpg, ячмень 00%-06.jpg;

– ячмень 05%-01.jpg, ячмень 05%-02.jpg, ячмень 05%-03.jpg, ячмень 05%-04.jpg, ячмень 05%-05.jpg, ячмень 05%-06.jpg;

– ячмень 10%-01.jpg, ячмень 10%-02.jpg, ячмень 10%-03.jpg, ячмень 10%-04.jpg;

– ячмень 15%-01.jpg, ячмень 15%-02.jpg;

– ячмень 20%-01.jpg, ячмень 20%-02.jpg, ячмень 20%-03.jpg, ячмень 20%-04.jpg;

– ячмень 30%-01.jpg;

– ячмень 40%-01.jpg, ячмень 40%-02.jpg;

– ячмень 50%-01.jpg;

– ячмень 60%-01.jpg;

– ячмень 70%-01.jpg;

– ячмень 80%-01.jpg».

Часть имени файла до тире рассматривается системой «Эйдос» как наименования класса, т.е. группы, к которой относится файл.

После тире идет *внутренняя* нумерация файлов внутри класса, т.е. это номер реализации или наблюдения.

Например, обобщенный образ класса: «ячмень 00%» будет формироваться системой на основе 6 примеров листьев, относящихся к этому классу, а образ класса: «ячмень 15%» лишь на основе 2-х примеров. Если тире в имени файла отсутствует, то все имя файла рассматривается как имя класса.

При выборе 4-го пункта изображения из базы данных изображений анализируются и формируется база данных: «Inp_data.xls» для продолжения формализации предметной области. При выборе этого пункта появляется окно, приведенное на рисунке 7, в котором можно указать различные параметры для анали-

за изображений. Мы выберем параметры, указанные на рисунке, которые являются параметрами по умолчанию:

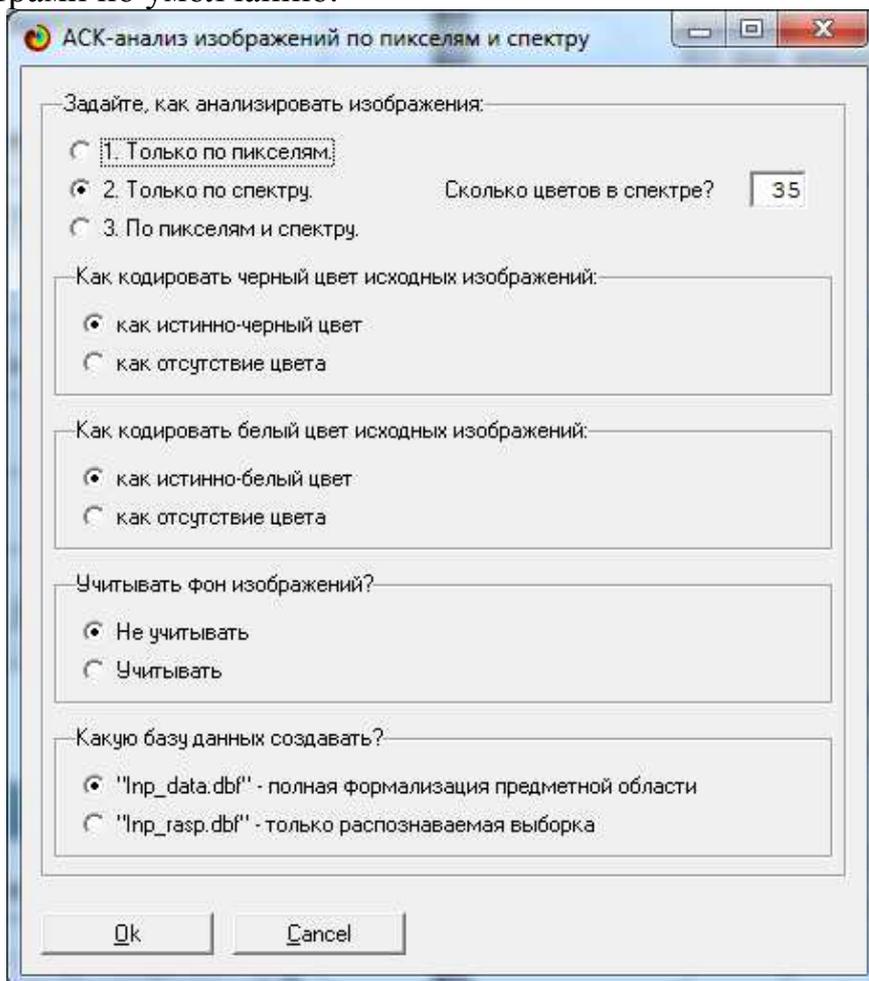
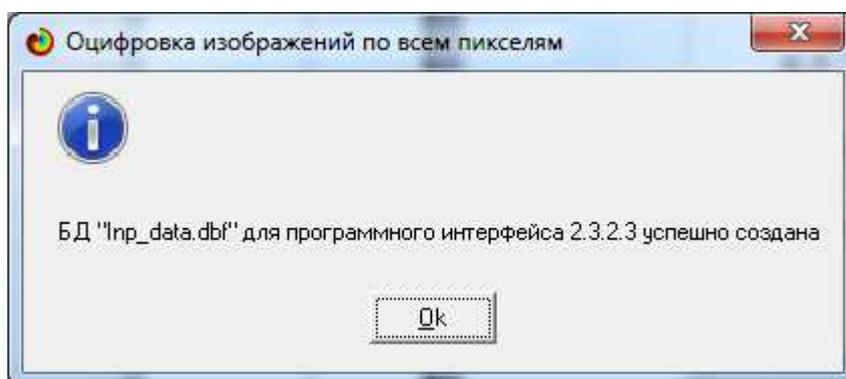


Рисунок 7. Параметры для анализа изображений в режиме 2.3.2.5. системы «Эйдос».

Затем идет процесс анализа графических файлов отображением стадии этого анализа. По окончании анализа изображений выводится информация о том, как продолжить работу.



Далее выполним режим 2.3.2.3 с параметрами по умолчанию (рисунок 8), которые формируются автоматически на предыдущем этапе.

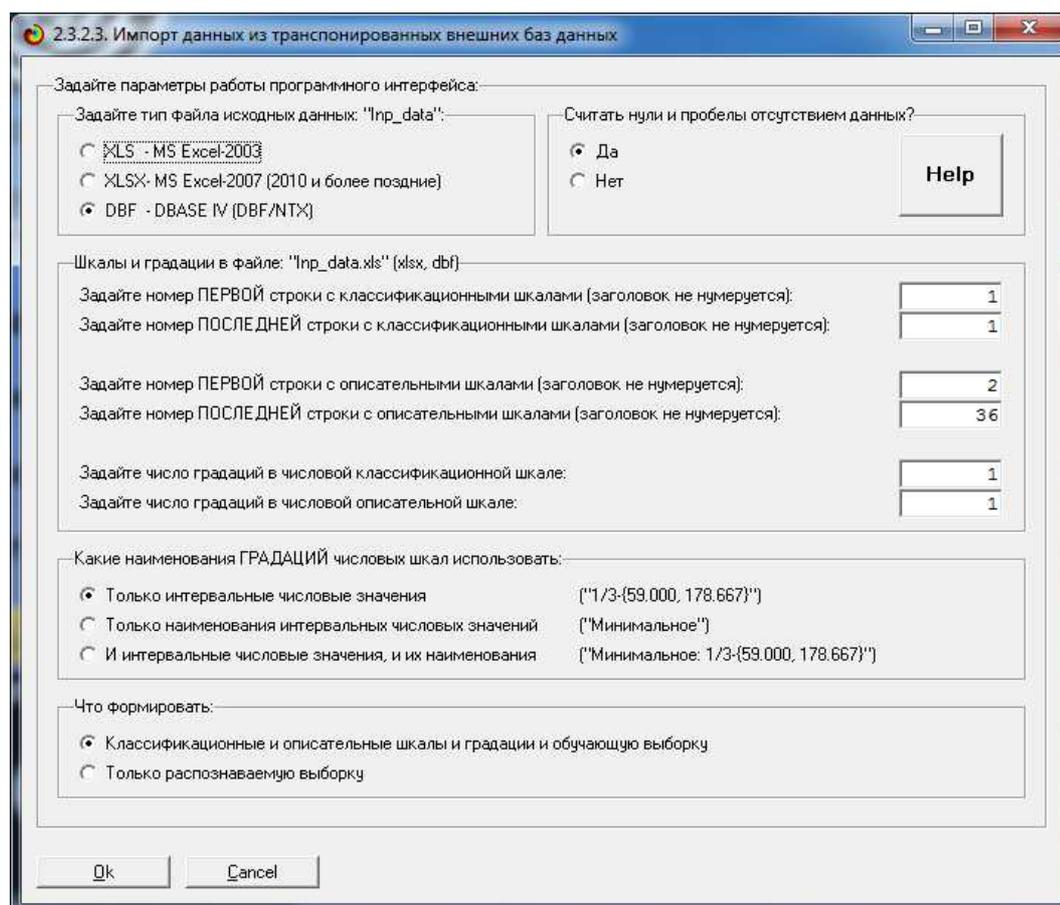


Рисунок 8. Экранная форма режима 2.3.2.3 системы «Эйдос».

Данный режим и формирует классификационные и описательные шкалы и градации (рисунки 9 и 10) и обучающую выборку (рисунок 11), чем завершается формализация предметной области.

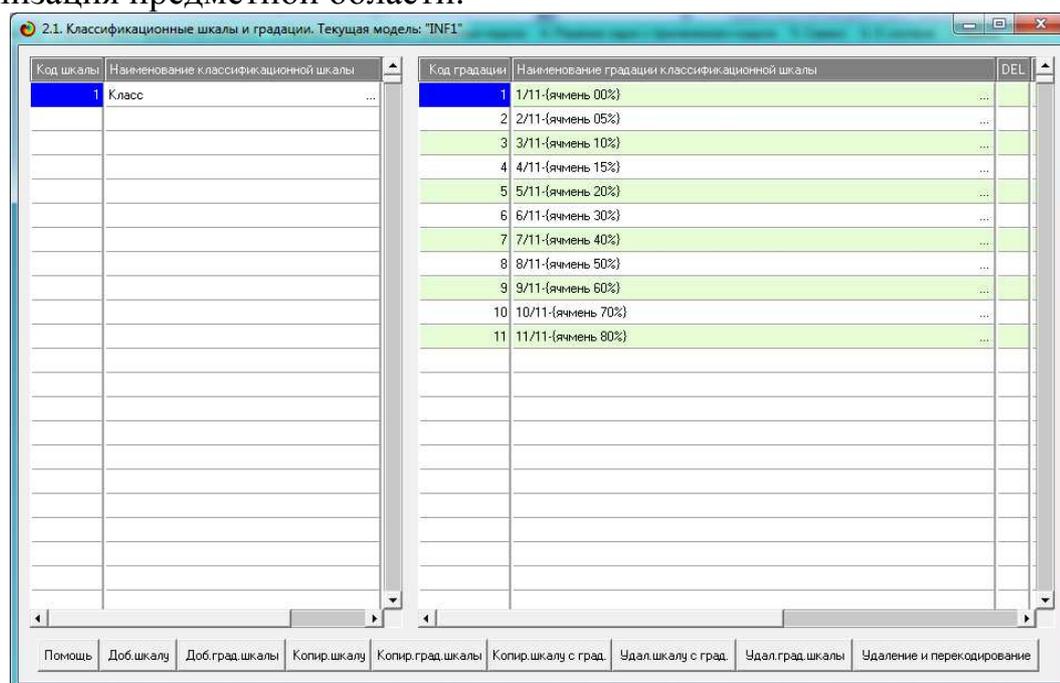


Рисунок 9. Классификационная шкала и градации

Обратим внимание на то, что система «Эйдос» сортирует текстовые градации классификационных шкал, т.е. классы, по алфавиту. Поэтому, чтобы их порядок был правильный и шкала была не просто номинальной, но порядковой, в наименованиях графических файлов исходных данных используются *ведущие нули* при нумерации реализаций внутри класса (00 вместо 9, 01 вместо 1). Количество этих ведущих нулей берется таким, чтобы разрядов хватило для нумерации всех файлов.

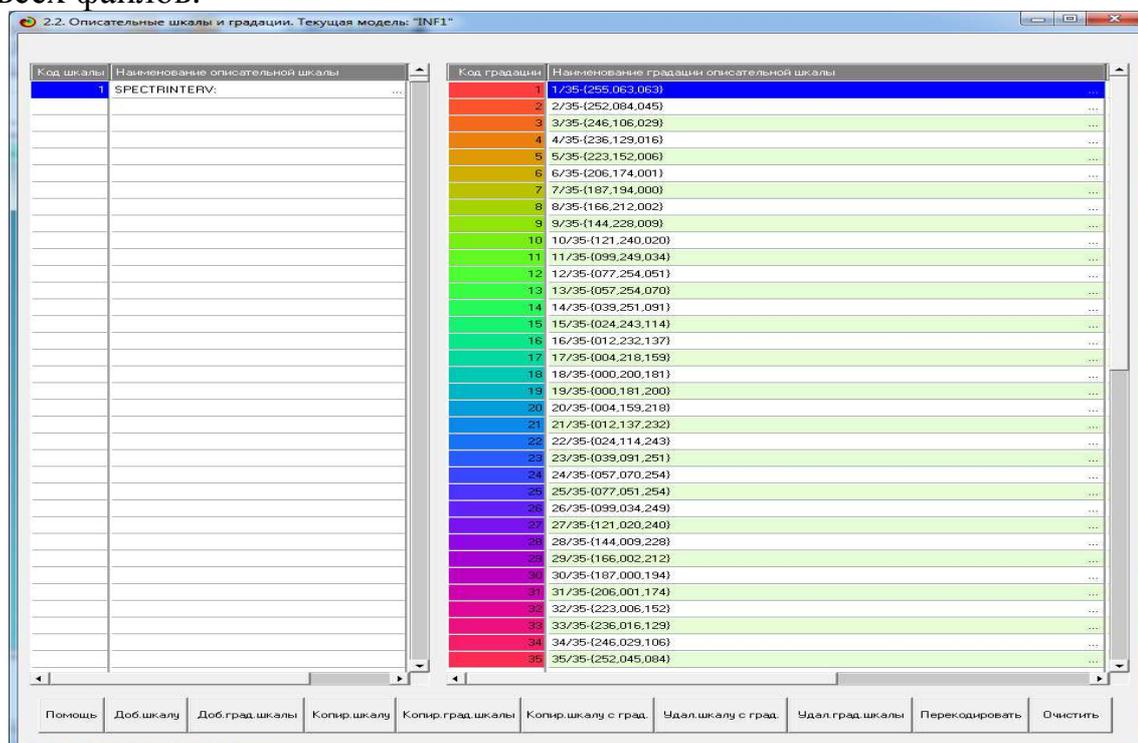


Рисунок 10. Описательная шкала и градации (спектральные диапазоны)

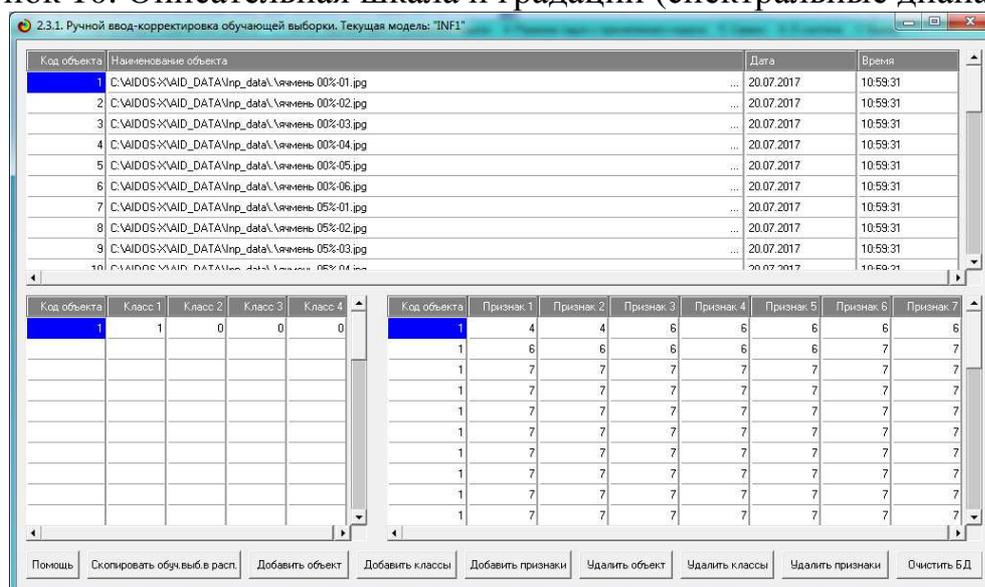


Рисунок 11. Обучающая выборка (фрагмент)

В результате формализации предметной области создаются все условия для синтеза и верификации (оценки достоверности) моделей.

7.3.3. Синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей

7.3.3.1. Синтез моделей

Синтез и верификация моделей осуществляется в режиме 3.5 системы «Эйдос» (рисунок 12):

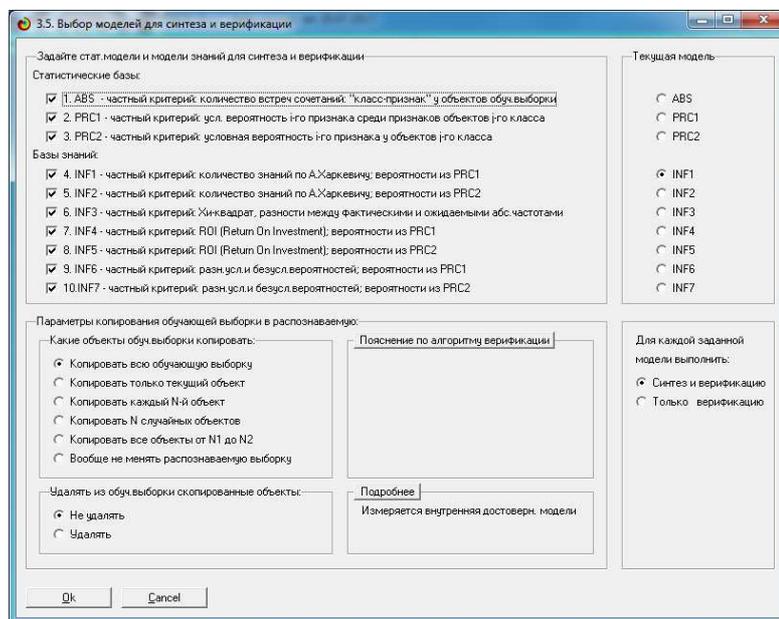


Рисунок 12. Экранная форма режиме синтеза и верификации моделей

Стадия процесса исполнения и прогноз времени его окончания отображается на экранной форме (рисунок 13):

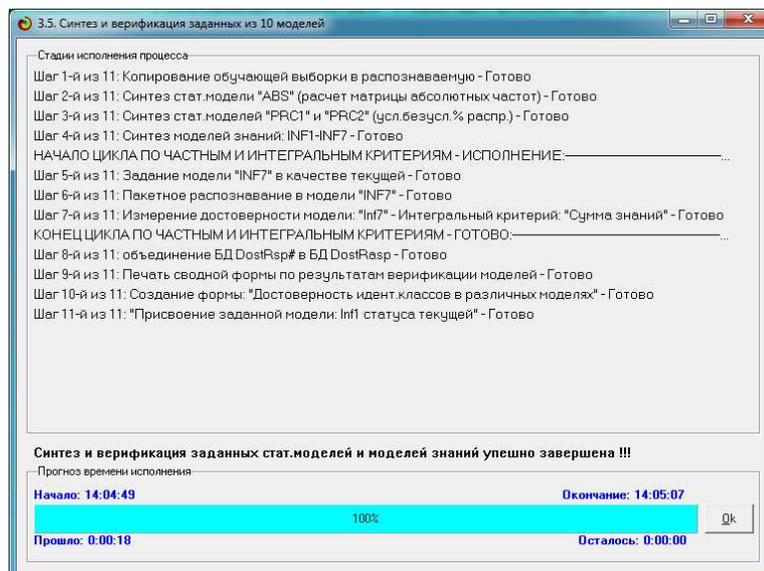


Рисунок 13. Экранная форма с отображением стадии синтеза и верификации моделей и прогнозом времени его окончания

Из рисунка 13 видно что весь процесс синтеза и верификации моделей занял 18 секунд.

7.3.3.2. Верификация моделей

Оценка достоверности моделей осуществляется путем решения задачи классификации исходных изображений по обобщенным образам классов и подсчета количества истинных положительных и отрицательных, а также ложных положительных и отрицательных решений по F-мере Ван Ризбергера и L1- L2-мерам проф.Е.В.Луценко (2017).

Классическая количественная мера достоверности моделей: F-мера Ван Ризбергера основана на подсчете суммарного количества верно и ошибочно классифицированных и не классифицированных объектов обучающей выборки. В мультиклассовых системах классификации объект может одновременно относиться ко многим классам. Соответственно, при синтезе модели его описание используется для формирования обобщенных образов многих классов, к которым он относится. При использовании модели для классификации определяется степень сходства-различия объекта со всеми классами, причем истинно-положительным решением может являться принадлежность объекта сразу к нескольким классам. В результате такой классификации получается, что объект не просто правильно или ошибочно относится или не относится к различным классам, как в классической F-мере, но правильно или ошибочно относится или не относится к ним в различной степени.

Однако классическая F-мера не учитывает того, что объект может, фактически, одновременно относиться ко многим классам (мультиклассовость) и того, что в результате классификации может быть получена различная степень сходства-различия объекта с классами (нечеткость). На численных примерах автором установлено, что при истинно-положительных и истинно-отрицательных решениях модуль сходства-различия объекта с классами значительно выше, чем при ложно-положительных и ложно-отрицательных решениях.

Поэтому была предложена L1-мера достоверности моделей (Луценко, 2017), учитывающая не просто сам факт истинно или ложно положительного или отрицательного решения, но и степень уверенности классификатора в этих решениях. При классификации больших данных было обнаружено большое количество ложно-положительных решений с низким уровнем сходства, которые, однако, суммарно вносят большой вклад в снижение достоверности модели.

Чтобы преодолеть эту проблему предлагается L2-мера (Луценко, 2017), в которой вместо сумм уровней сходства используется средние уровни сходства по различным вариантам классификации. Таким образом, в данной работе предлагаются меры достоверности моделей, названные L1-мера и L2-мера, смягчающие и преодолевающие недостатки F-меры, эти меры описаны математически и их применение продемонстрировано на простом численном примере. В интеллектуальной системе «Эйдос», которая является программным инструментарием автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), реализованы все эти меры достоверности моделей: F, L1 и L2

В режиме 4.1.3.6 на мы видим (рисунок 14), что по L2-мере наивысшую достоверность имеет модель INF3

Наименование модели и частного критерия	Интегральный критерий	Аннотации	L1-мера проф. Е.В. Луцен.	Средний модуль уровней сход. истинно-полож. решений	Средний модуль уровней сход. истинно-отрицат. решений	Средний модуль уровней сход. ложно-положит. решений	Средний модуль уровней сход. ложно-отрицат. решений	А-Точность модели AРеспоп + АТР/АТ...	А-Полнота модели АРесол + АТР/АТ...	L2-мера проф. Е.В. Луцен.	Процент правильной иденти.	Процент правильной не иденти.	Процент ошибочной иденти...	Процент ошибочной не иденти...	
1. ABS - частный критерий: количество встреч сочетаний "клас...	Корреляция абс частот с обр...		1,000	0,203	0,893		0,702	0,560	1,000	0,718	100,000		100,000		
1. ABS - частный критерий: количество встреч сочетаний "клас...	Сумма абс частот по признак...		1,000	0,291	0,392		0,191	0,672	1,000	0,804	100,000		100,000		
2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность того признака сред...	Корреляция усл отн частот с о...		1,000	0,203	0,893		0,702	0,560	1,000	0,718	100,000		100,000		
2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность того признака сред...	Сумма усл отн частот по при...		1,000	0,202	0,870		0,451	0,558	1,000	0,717	100,000		100,000		
3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность того признака...	Корреляция усл отн частот с о...		1,000	0,203	0,893		0,702	0,560	1,000	0,718	100,000		100,000		
3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность того признака...	Сумма усл отн частот по при...		1,000	0,201	0,563		0,447	0,558	1,000	0,716	100,000		100,000		
4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А/Харкевичу, в...	Семантический резонанс зна...		0,918	0,428	0,197	0,111	0,151	0,318	0,566	0,640	86,207	66,323	33,677	13,793	
4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А/Харкевичу, в...	Сумма знаний		0,949	0,407	0,083	0,021	0,072	0,176	0,538	0,796	0,642	82,759	73,920	26,080	17,241
5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А/Харкевичу, в...	Семантический резонанс зна...		0,933	0,416	0,197	0,088	0,147	0,329	0,571	0,690	86,207	64,882	35,118	13,793	
5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А/Харкевичу, в...	Сумма знаний		0,930	0,388	0,088	0,032	0,079	0,184	0,529	0,734	0,615	82,759	72,673	27,327	17,241
6. INF3 - частный критерий: Хинквардат, разности между фактин...	Семантический резонанс зна...		0,939	0,371	0,527	0,213	0,368	0,482	0,589	0,712	0,645	86,207	50,238	49,762	13,793
6. INF3 - частный критерий: Хинквардат, разности между фактин...	Сумма знаний		0,967	0,487	0,277	0,060	0,121	0,123	0,697	0,823	0,755	86,207	50,238	49,762	13,793
7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятн...	Семантический резонанс зна...		0,916	0,431	0,426	0,187	0,318	0,398	0,573	0,695	82,759	65,556	34,444	17,241	
7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятн...	Сумма знаний		0,998	0,371	0,299	0,021	0,217	0,214	0,580	0,935	0,716	96,552	56,674	43,326	3,448
8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятн...	Семантический резонанс зна...		0,930	0,426	0,402	0,189	0,295	0,395	0,576	0,681	86,207	62,929	37,071	13,793	
8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятн...	Сумма знаний		0,996	0,357	0,307	0,018	0,233	0,208	0,569	0,944	0,710	93,103	58,116	41,884	6,897
9. INF6 - частный критерий: разн усл и безуслов вероятностей; вер...	Семантический резонанс зна...		0,938	0,371	0,525	0,215	0,367	0,487	0,589	0,709	0,643	86,207	50,238	49,762	13,793
9. INF6 - частный критерий: разн усл и безуслов вероятностей; вер...	Сумма знаний		0,961	0,388	0,263	0,067	0,174	0,262	0,601	0,796	0,685	86,207	49,339	50,661	13,793
10. INF7 - частный критерий: разн усл и безуслов вероятностей; ве...	Семантический резонанс зна...		0,985	0,358	0,516	0,039	0,372	0,484	0,581	0,930	0,716	82,759	49,361	50,639	17,241
10. INF7 - частный критерий: разн усл и безуслов вероятностей; ве...	Сумма знаний		0,985	0,358	0,271	0,035	0,208	0,294	0,566	0,885	0,680	89,655	48,851	51,149	10,345

Рисунок 14. Экранная форма с оценками достоверности моделей согласно F-критерию Ван Ризбергена и его нечетким мультиматричным обобщениям, инвариантным, относительно объемов выборки

Из этой формы мы видим, что по L2-критерию достоверность наиболее достоверной модели INF3 составляет 0,755, что неплохо.

7.3.4. Повышение качества модели и выбор наиболее достоверной модели

Достоверность моделей может быть повышена путем проведения ряда специальных мероприятий, которые мы в данной работе рассматривать не будем в связи с ограничением на ее объем. Отметим лишь, что в системе «Эйдос» есть целая подсистема 3.7.6. Повышение качества моделей, включающая 8 режимов, предназначенных для этих целей (рисунок 15):

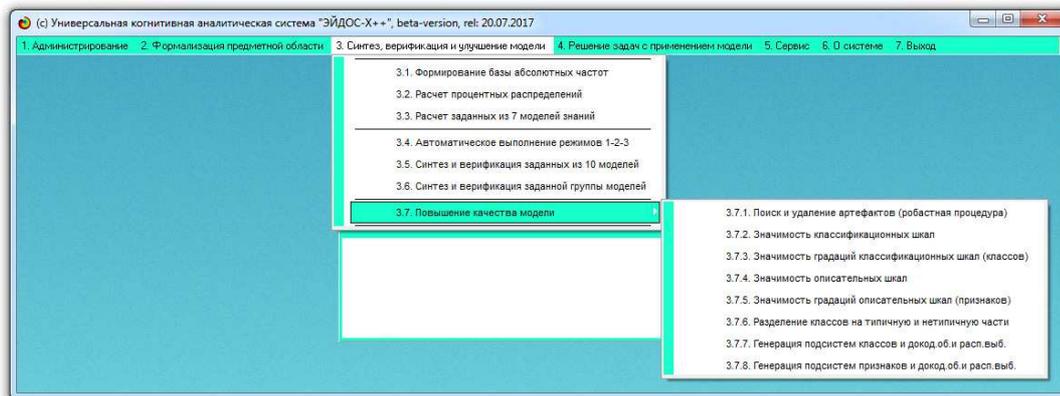


Рисунок 15. Подсистема повышения качества моделей

После выполнения этих режимов наиболее достоверной может стать другая модель, чем была до этого, а может и остаться та же самая.

Из предыдущего раздела мы видели, что наиболее достоверной по L2-критерию является модель INF3. Поэтому придадим ей статус текущей модели. Для этого выполним предназначенный для этого режим 5.6 (рисунок 16):

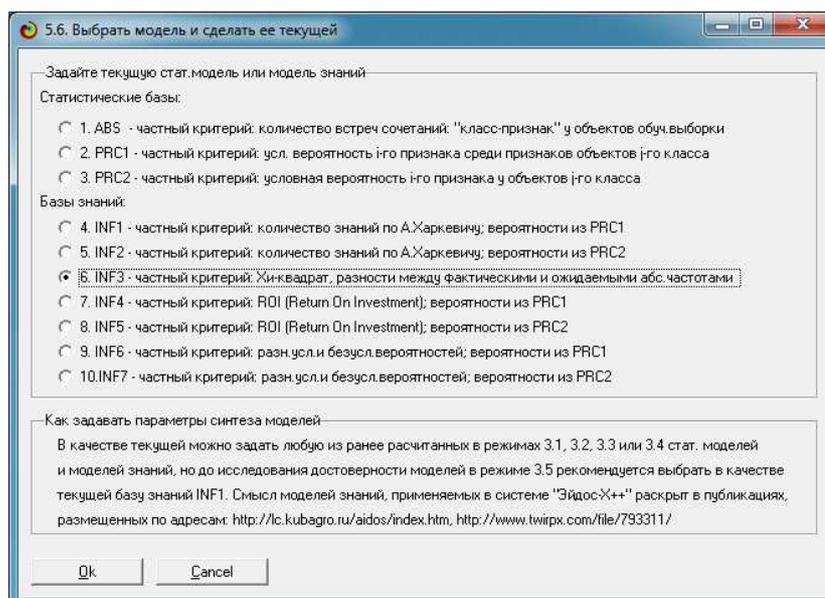
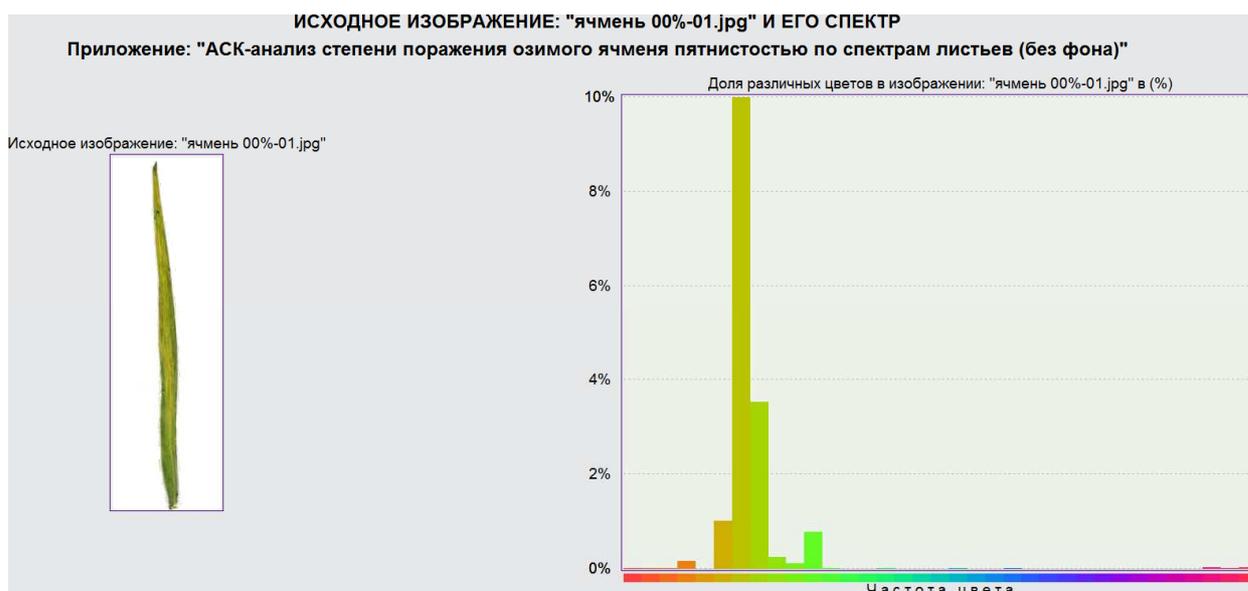


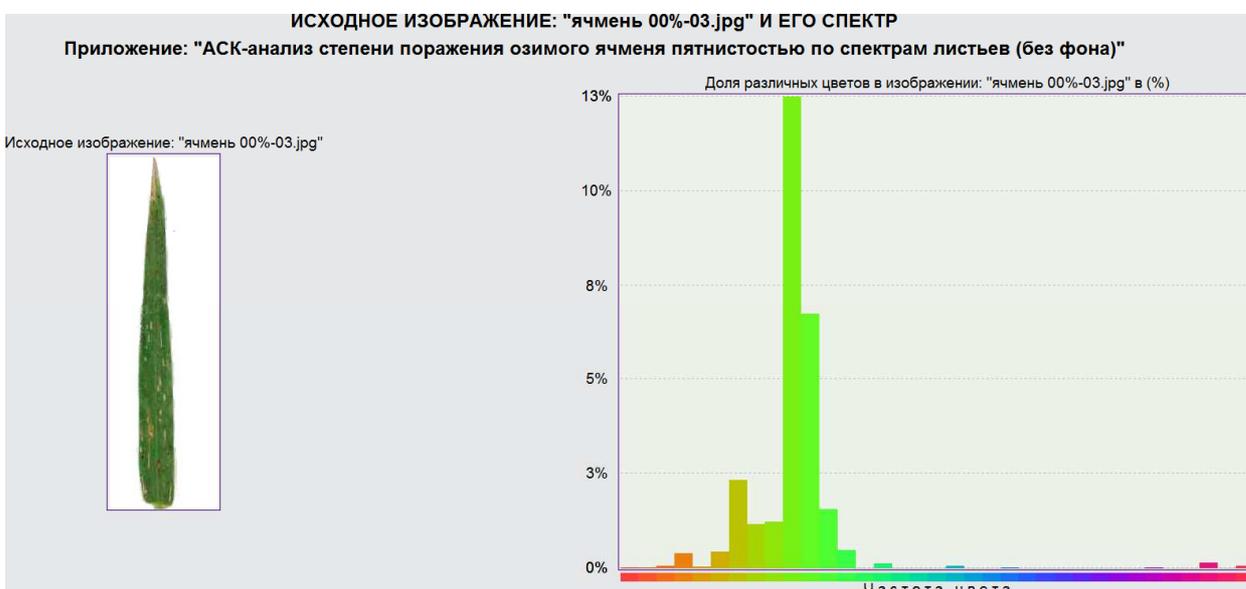
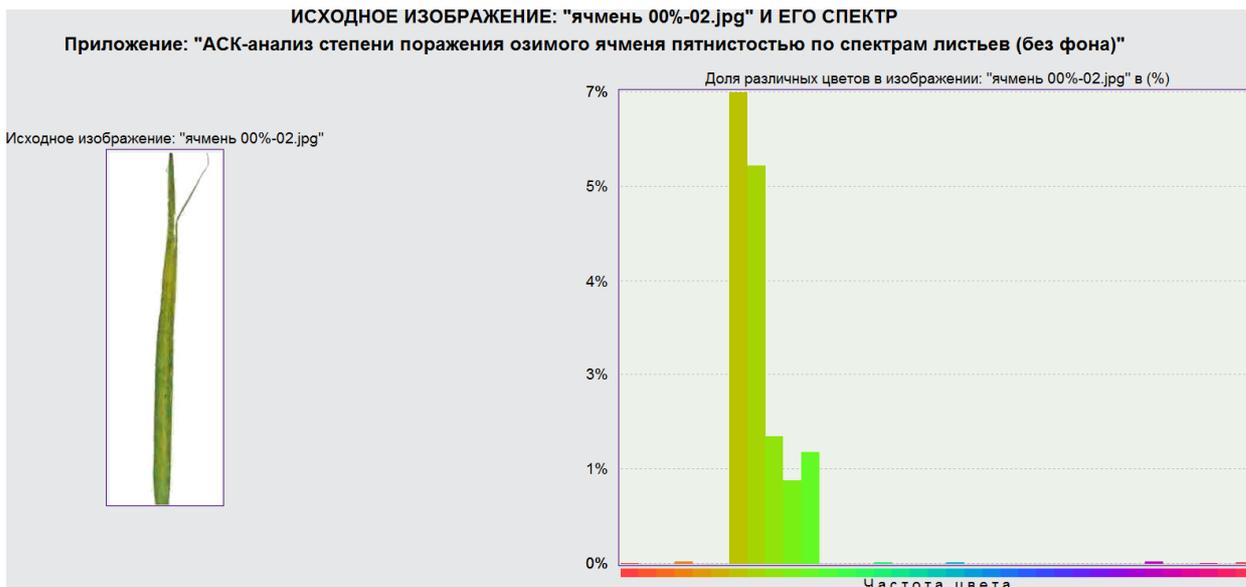
Рисунок 16. Экранная форма режима выбора текущей модели

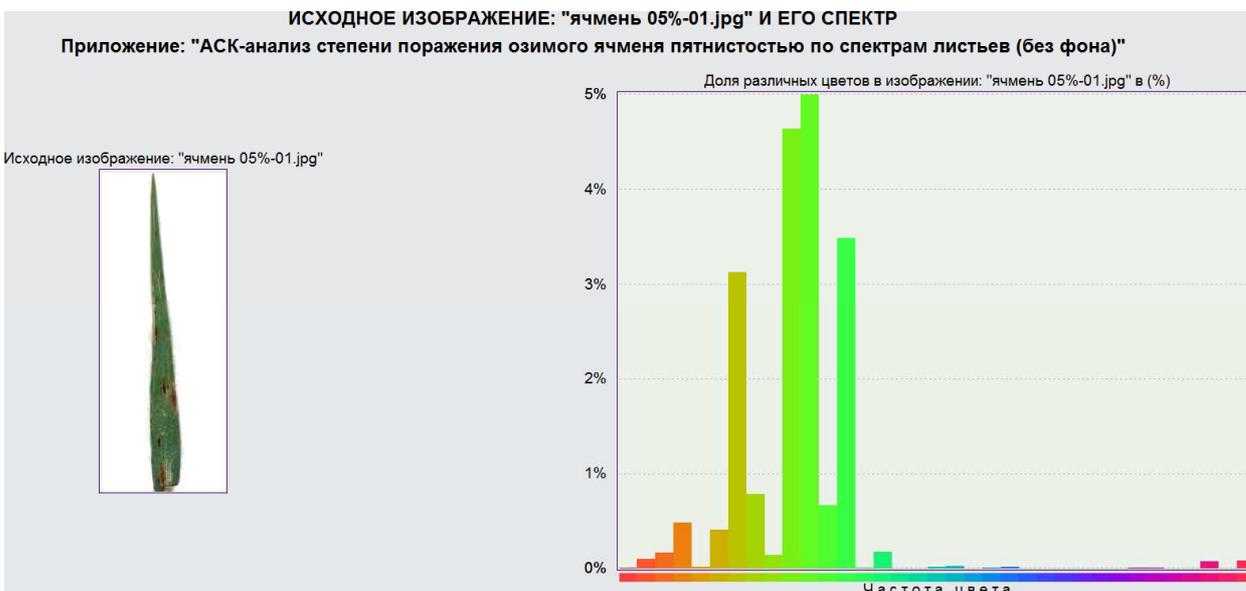
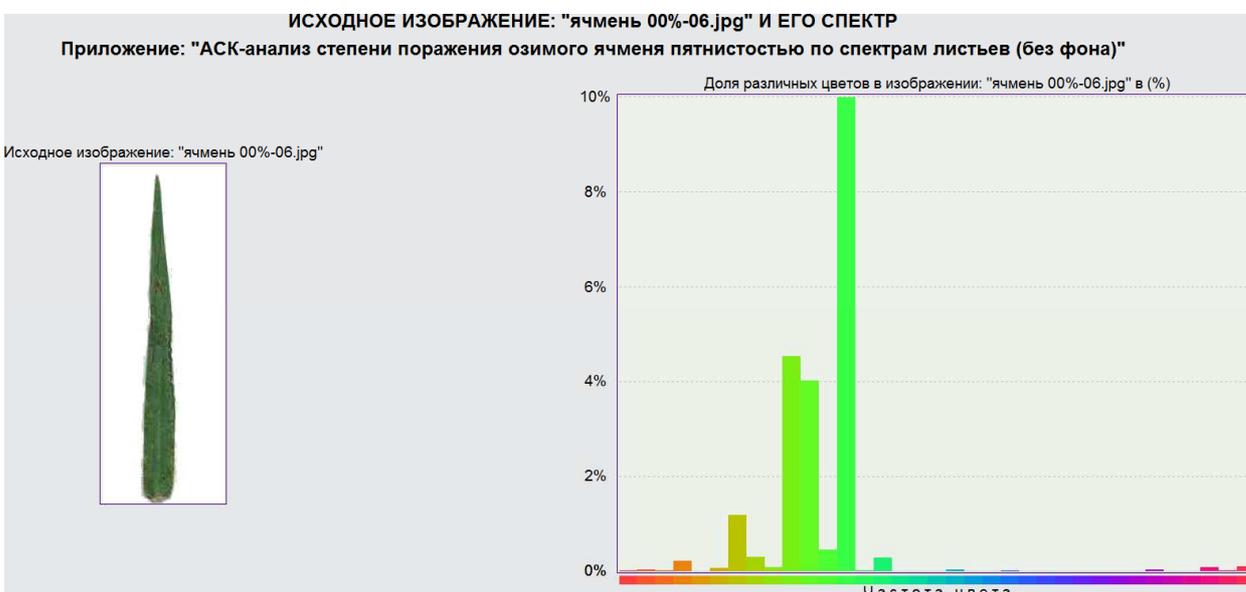
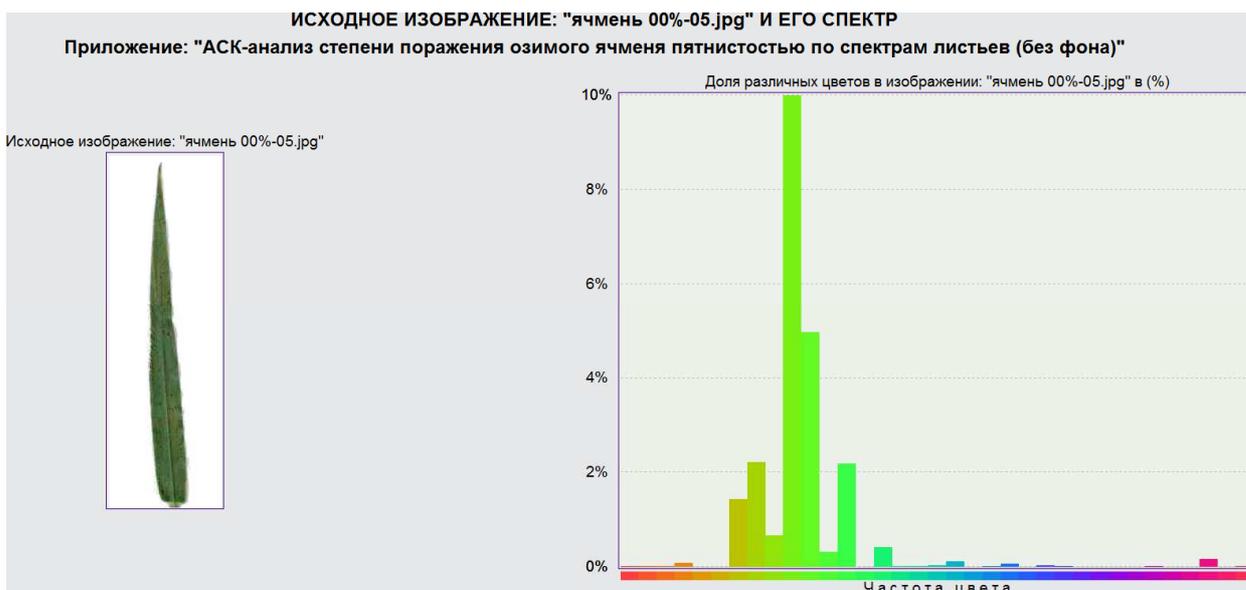
7.3.5. Диагностика степени поражения пятнистостью листьев озимого ячменя

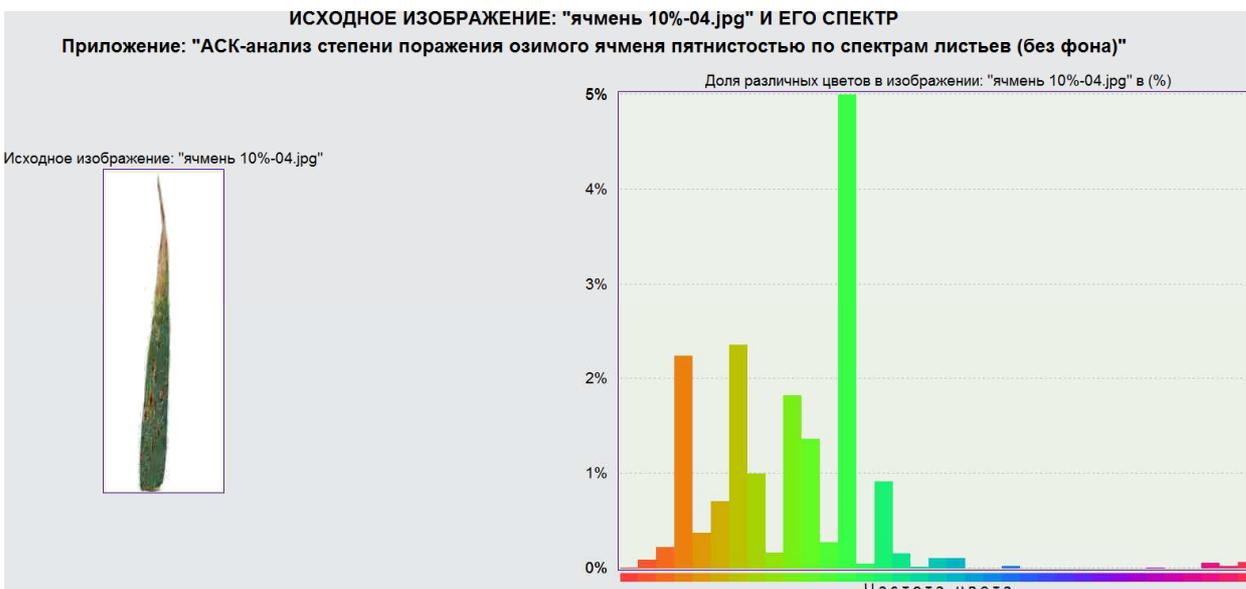
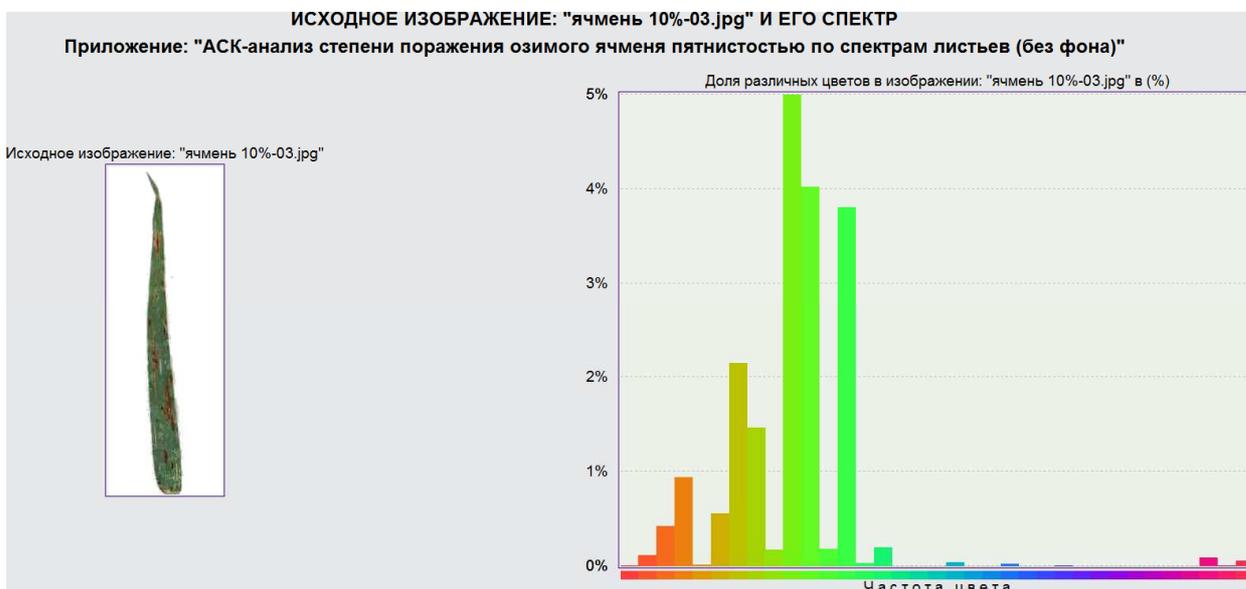
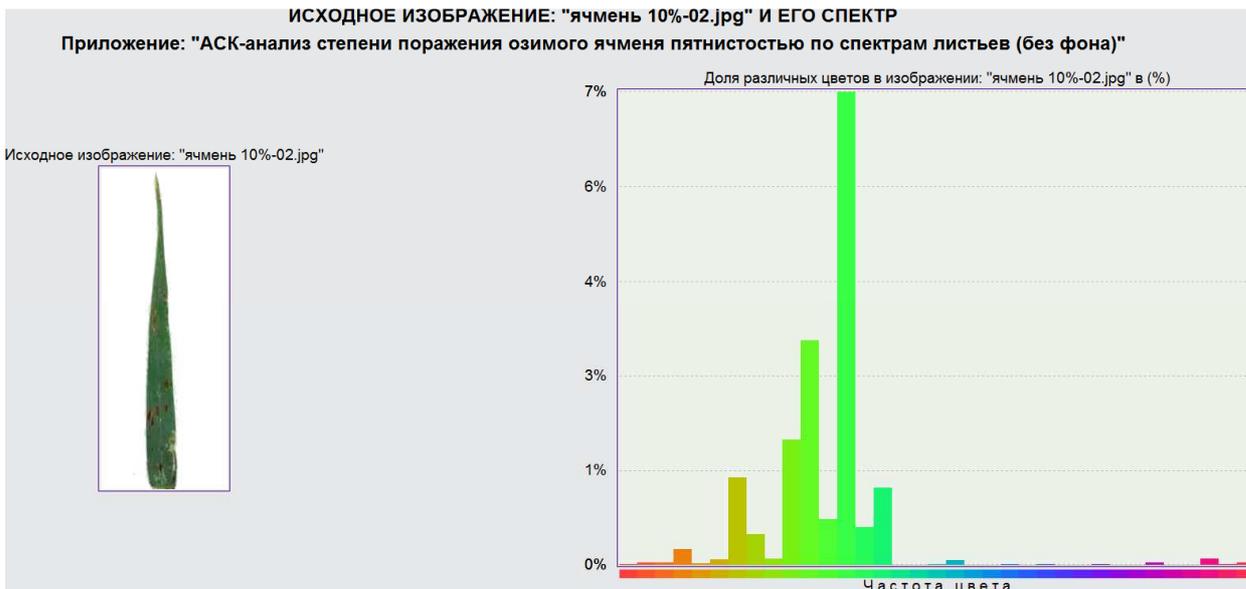
7.3.5.1. Спектры исходных изображений

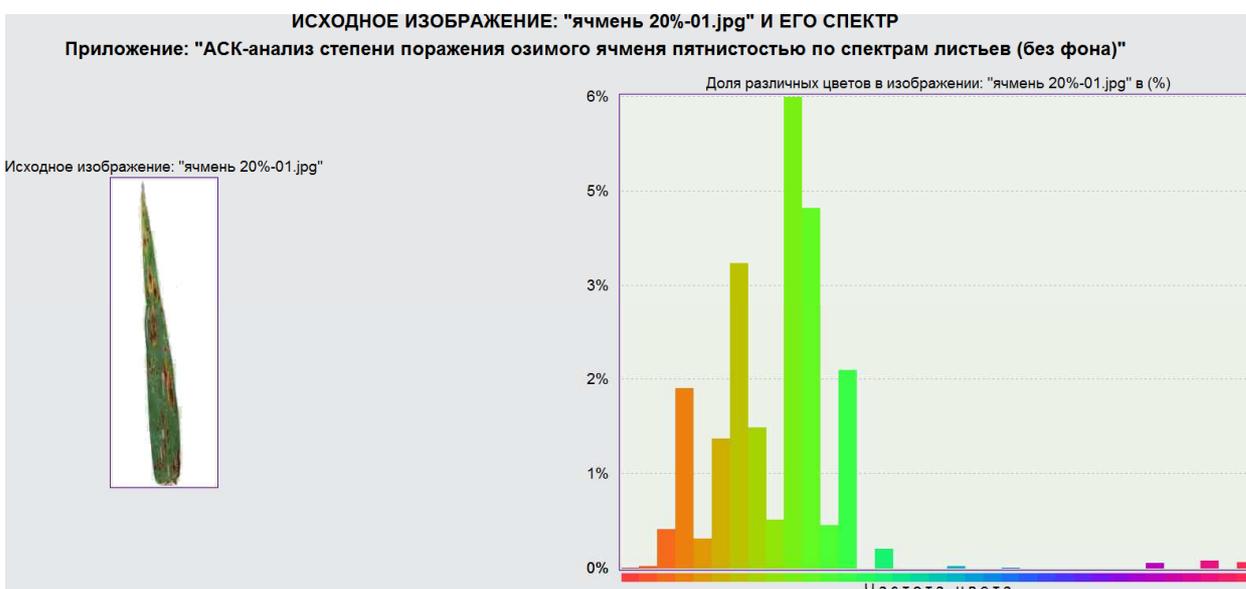
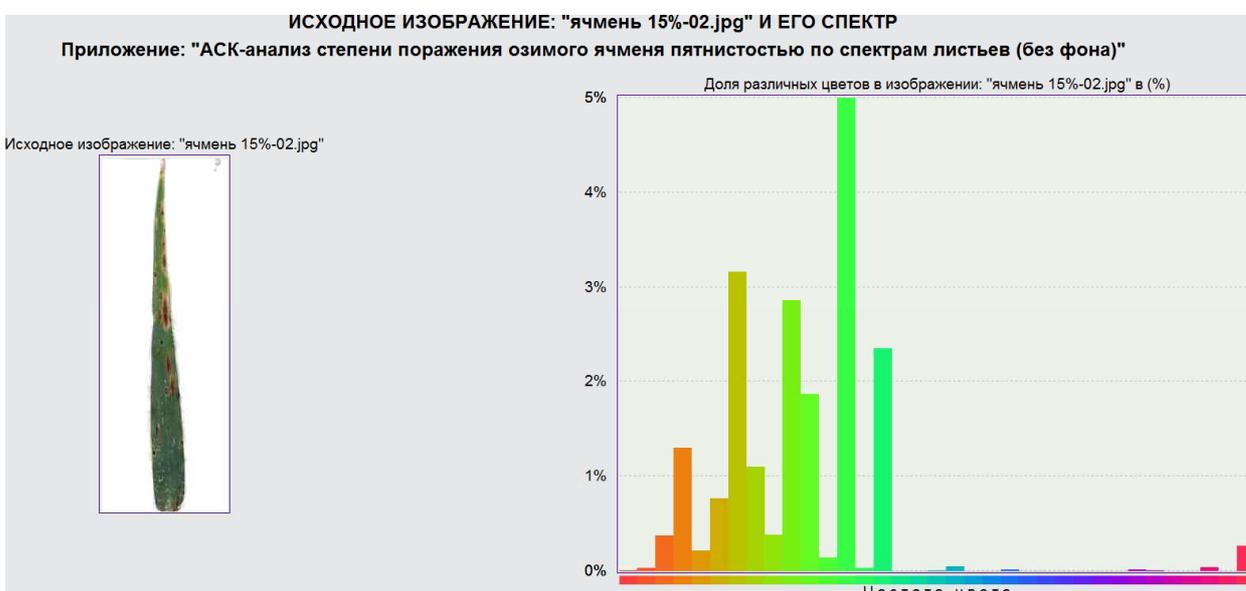
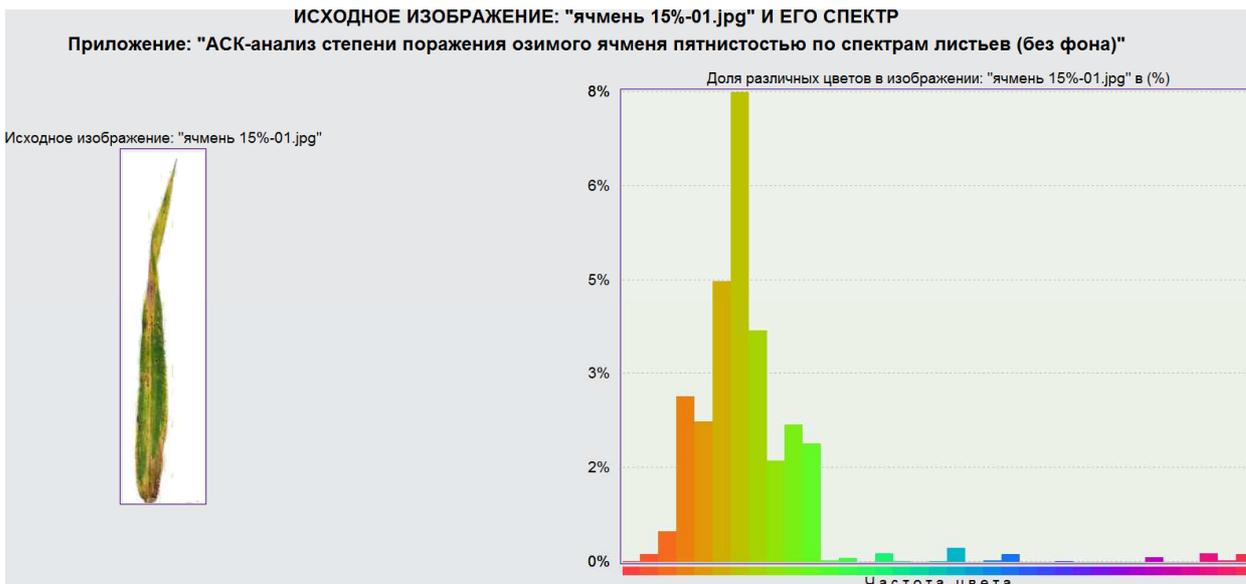
Спектры исходных изображений формируются при формализации предметной области, т.к. они представляют собой один из этапов процесса формализации. Но приводятся они в данном разделе (рисунки 17), т.к. так их удобнее сравнивать с обобщенными спектрами классов, которые формируются на этапе синтеза модели и которые будут рассматриваться в следующем разделе.

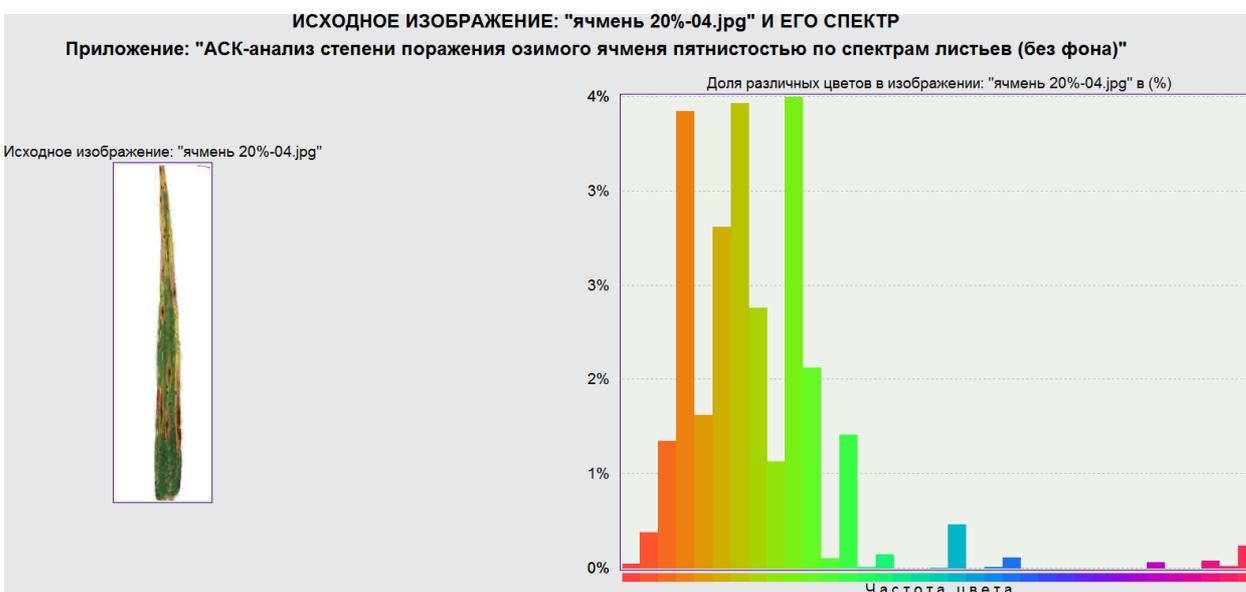
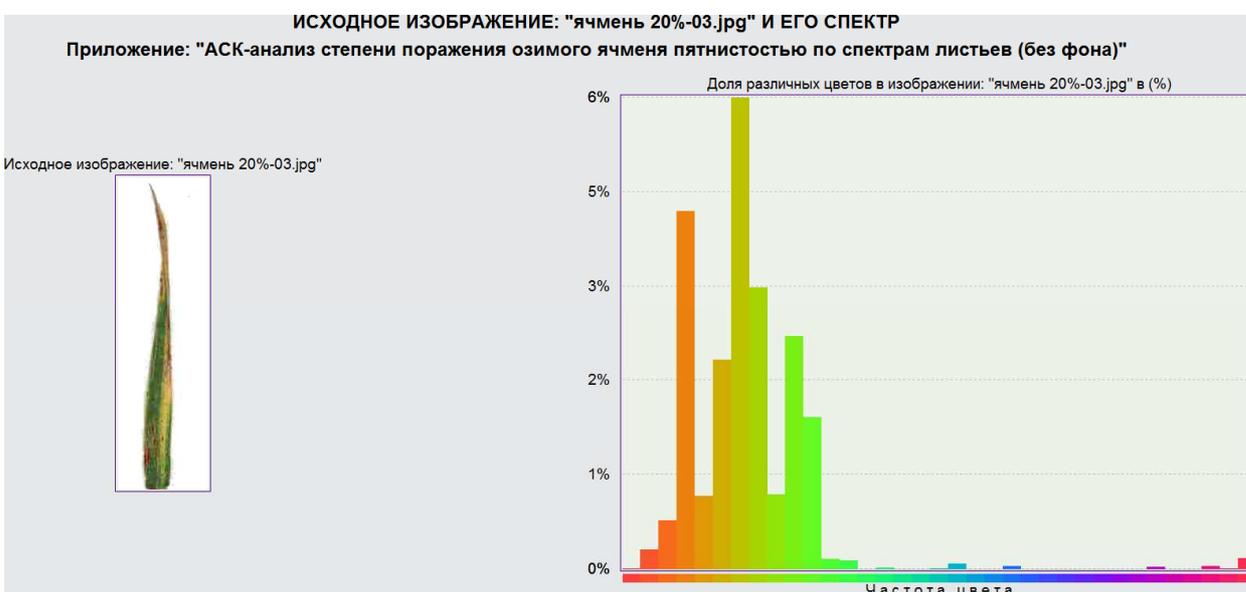
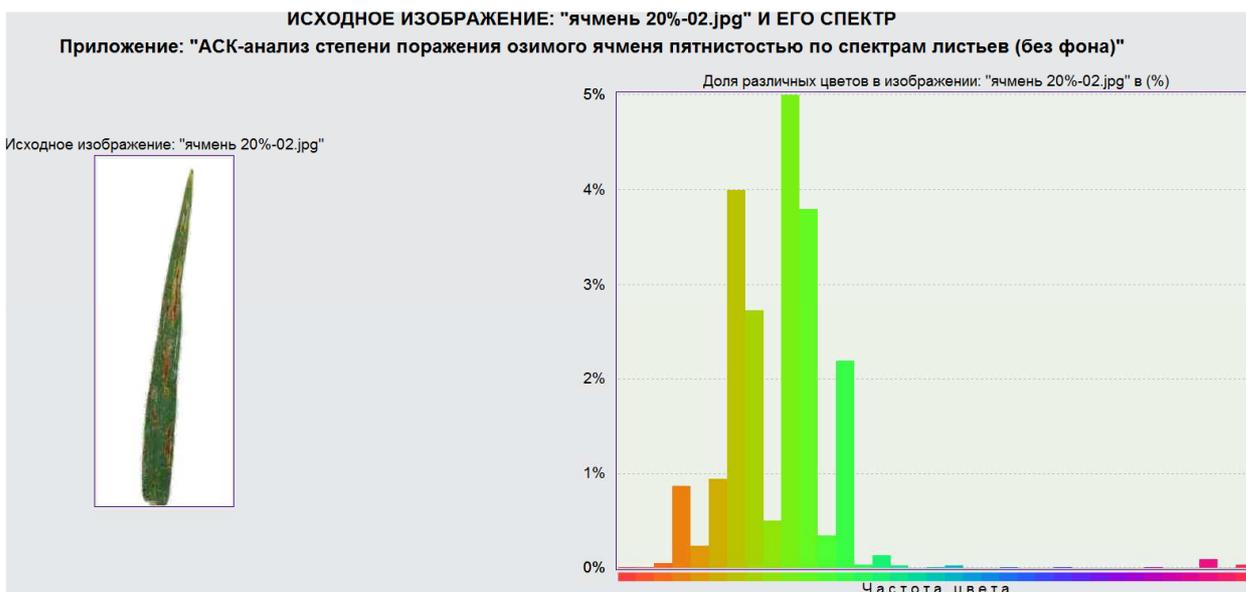


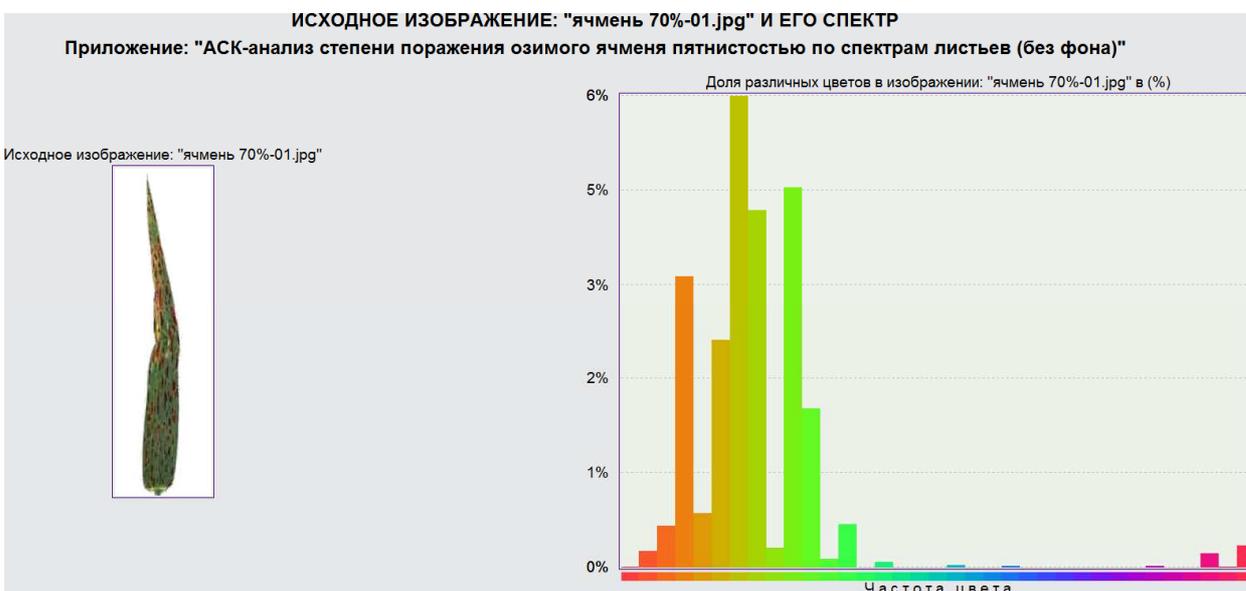
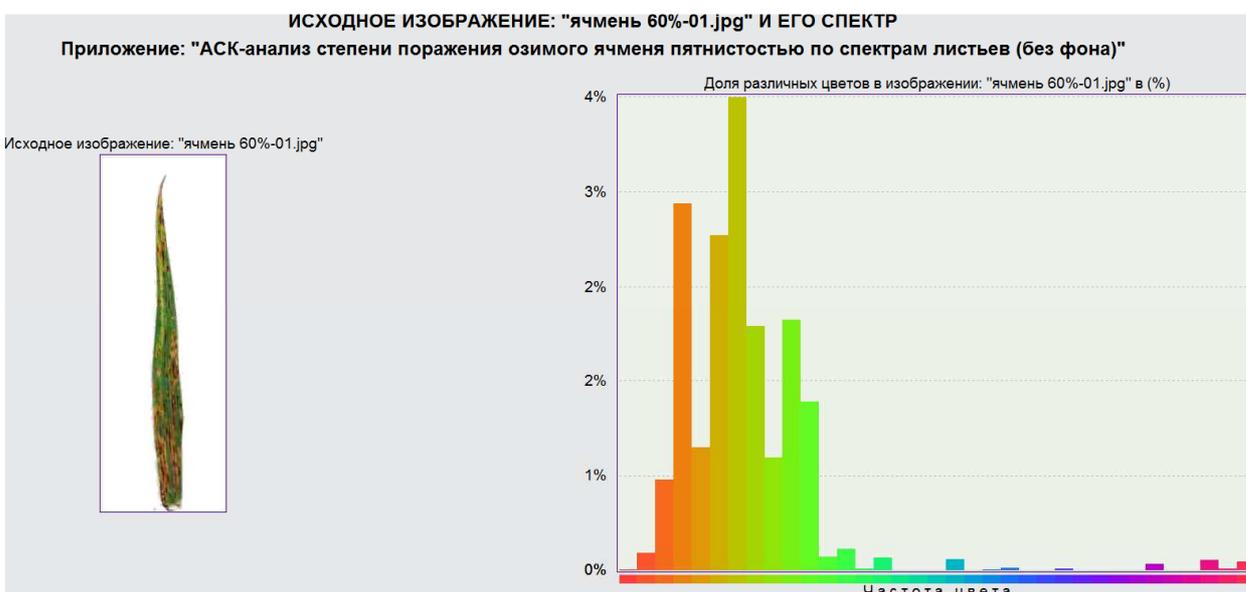
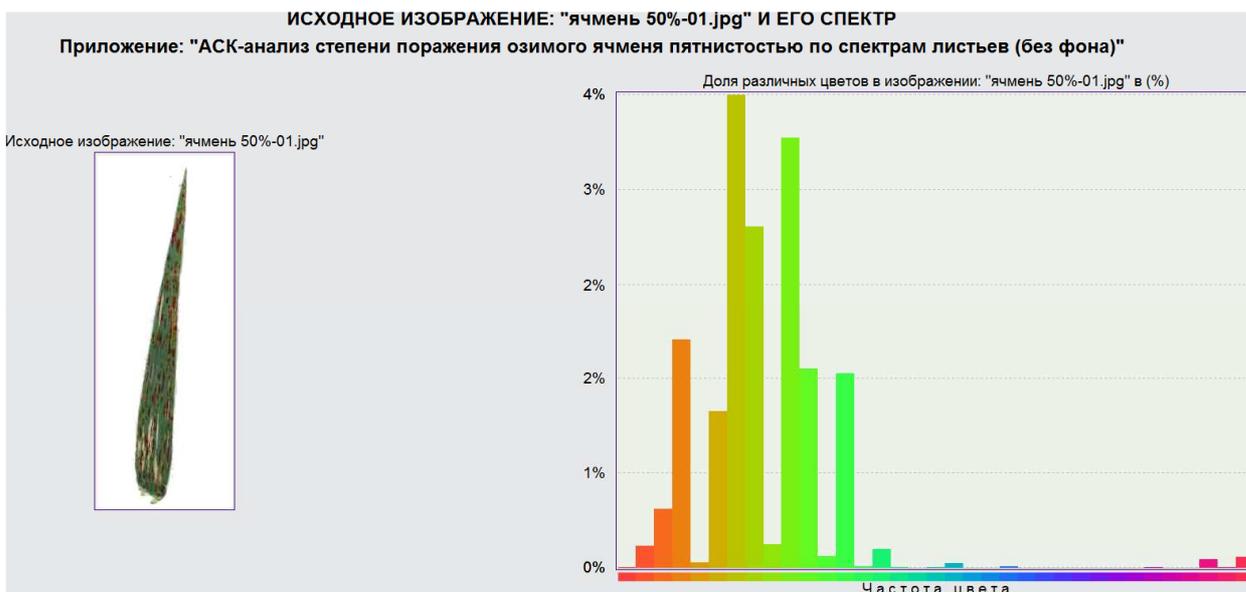


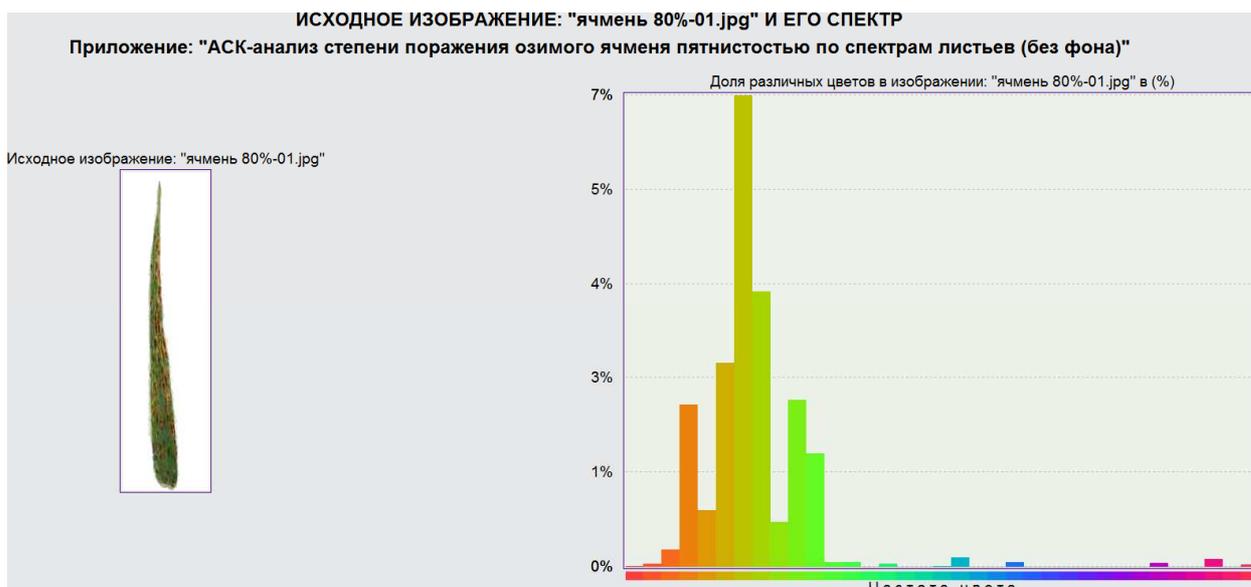








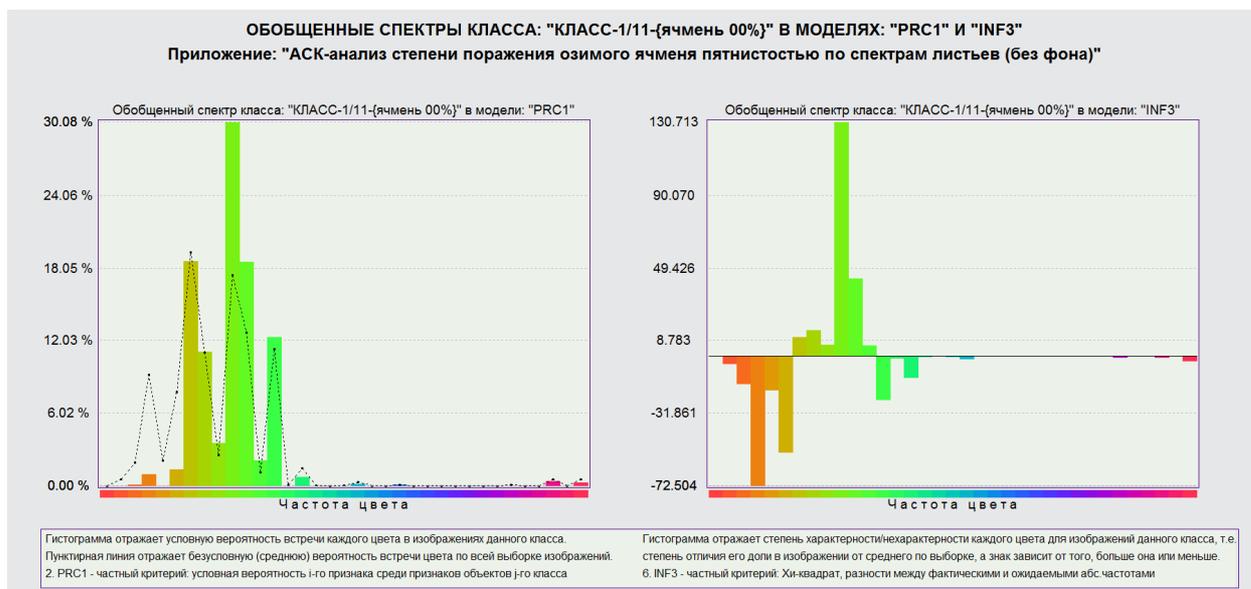


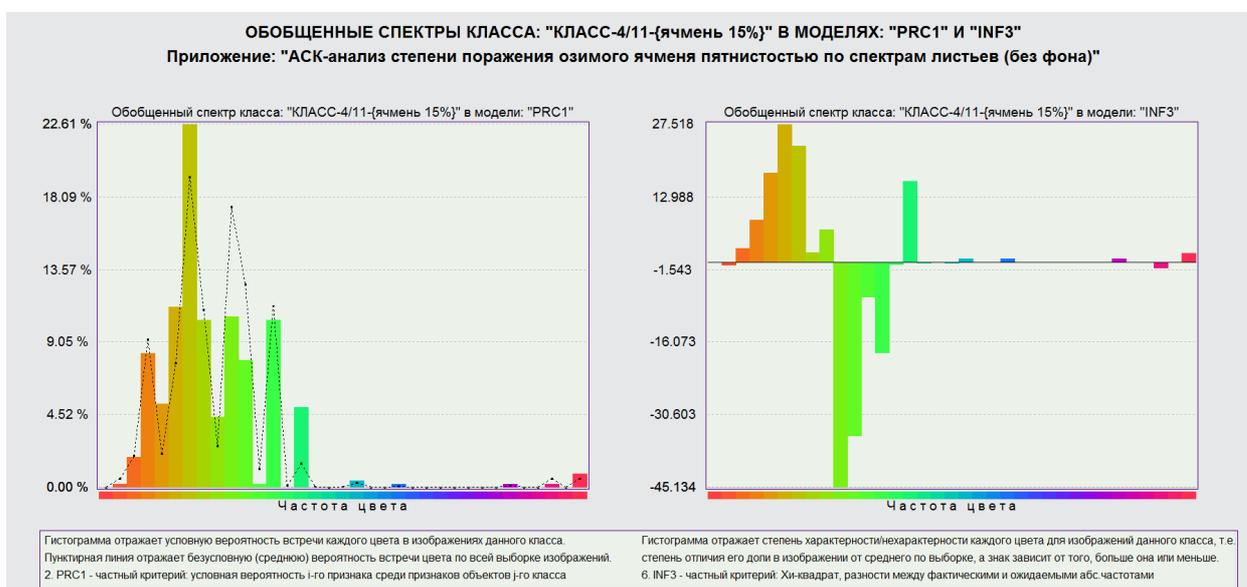
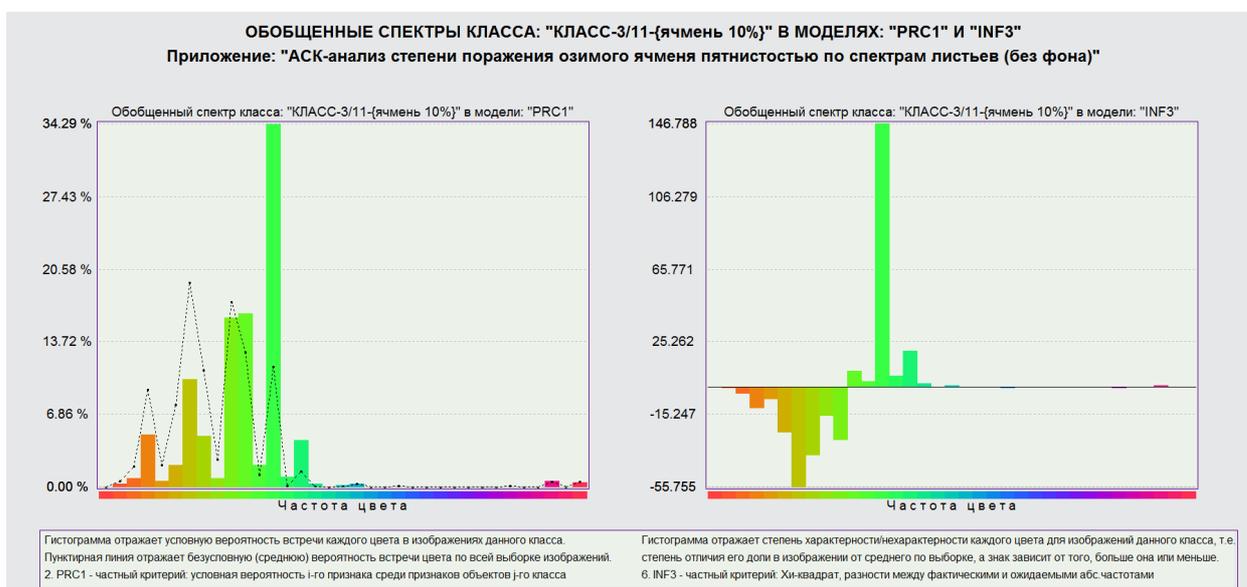
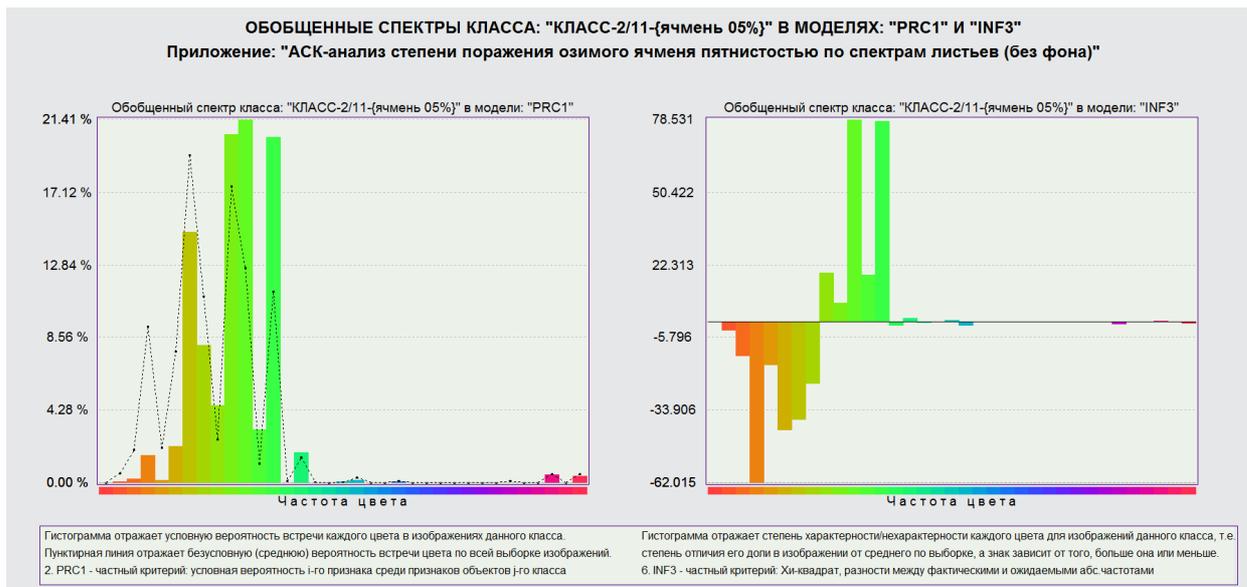


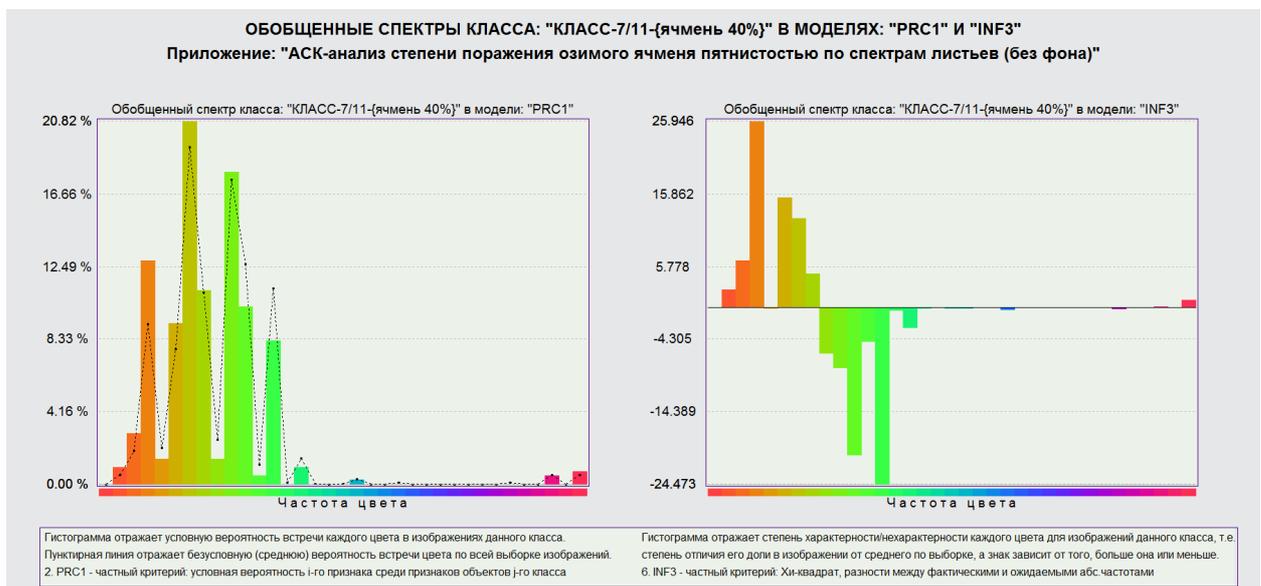
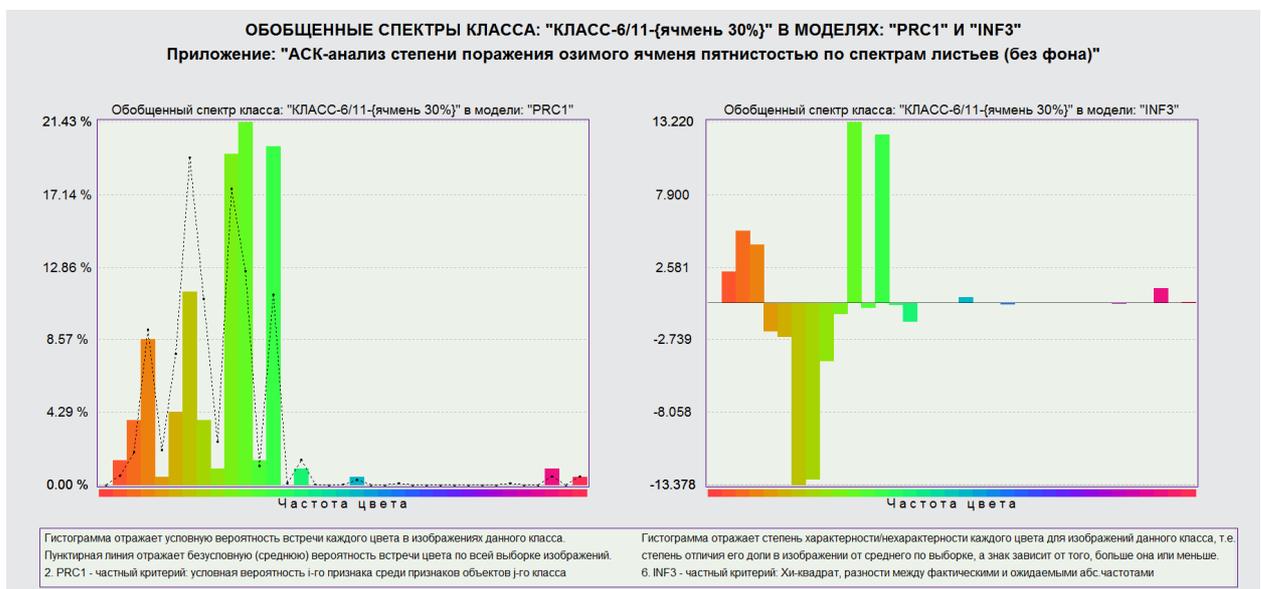
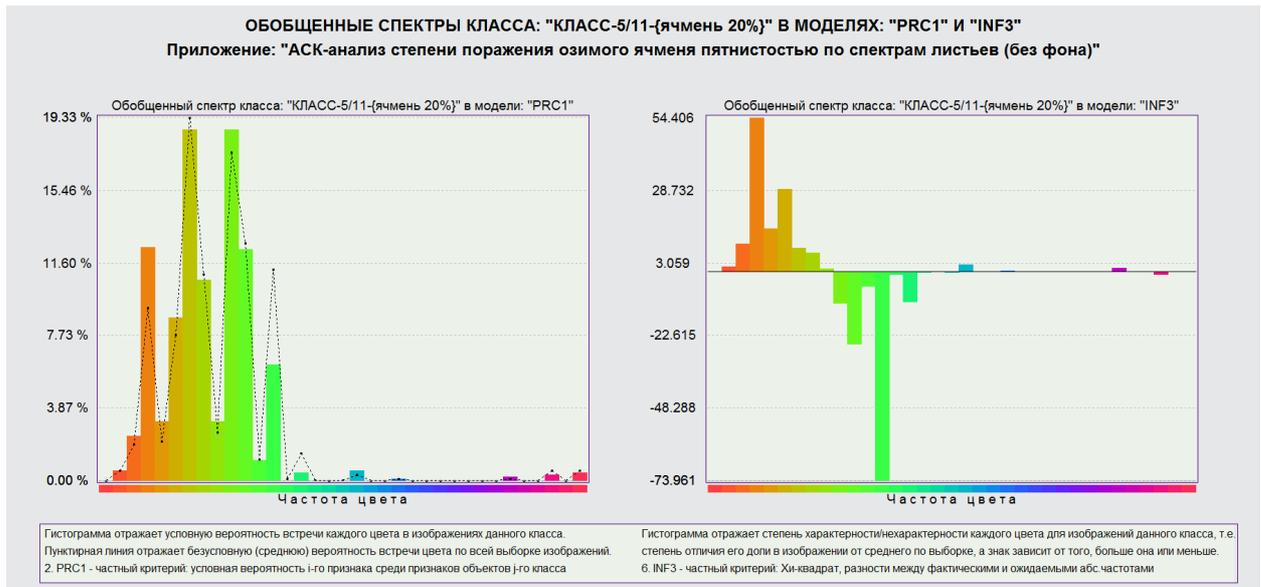
Рисунки 17. Примеры спектров исходных изображений листьев ячменя, в различной степени пораженных сетчатой пятнистостью.

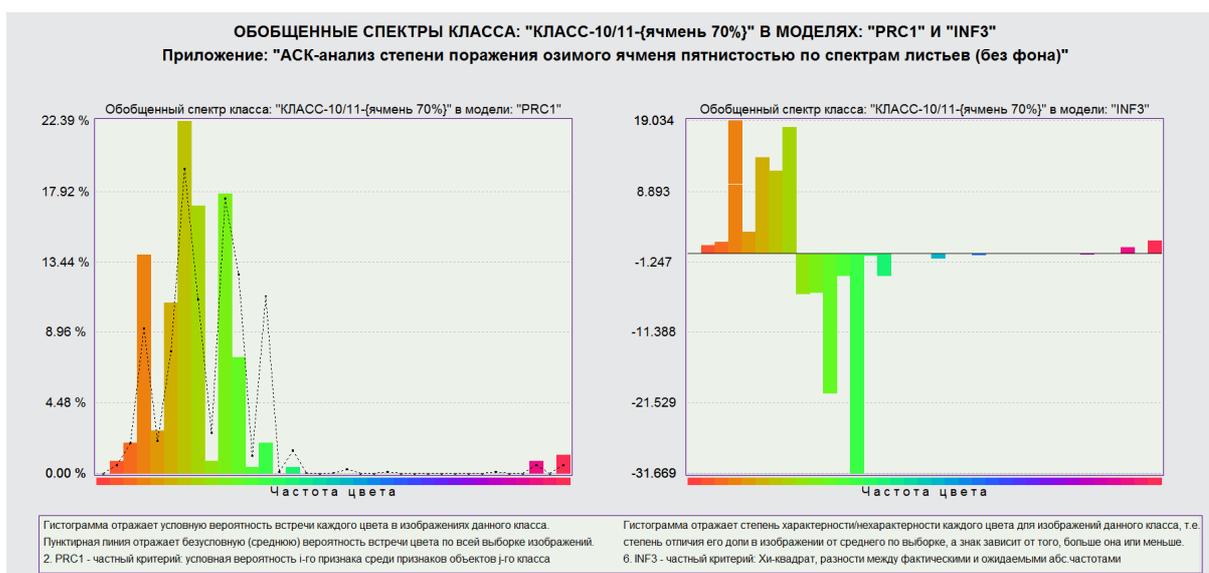
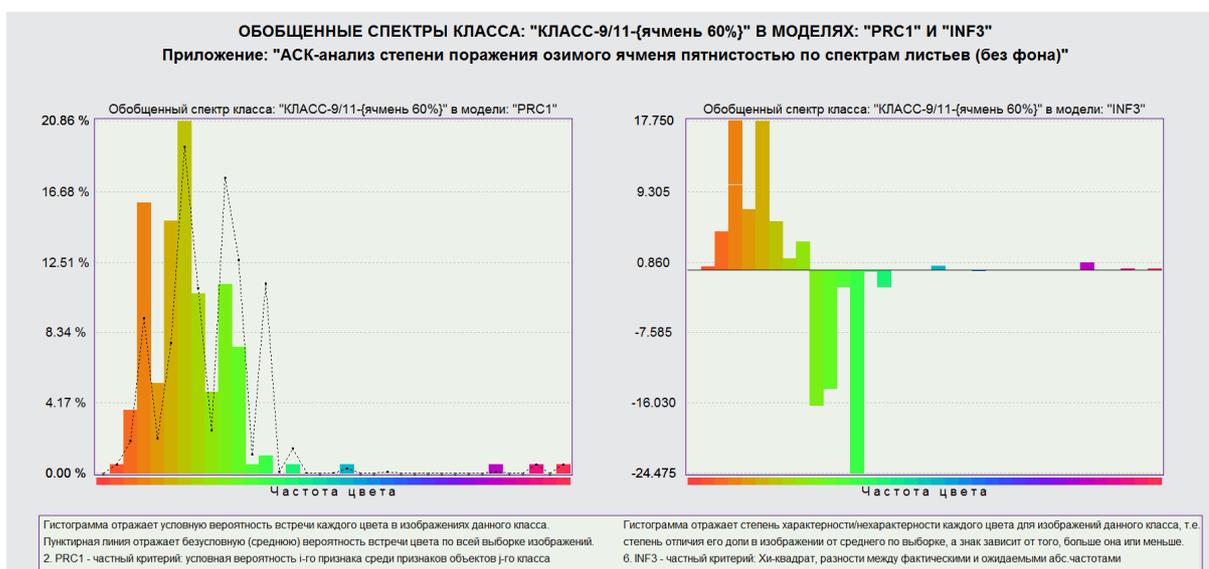
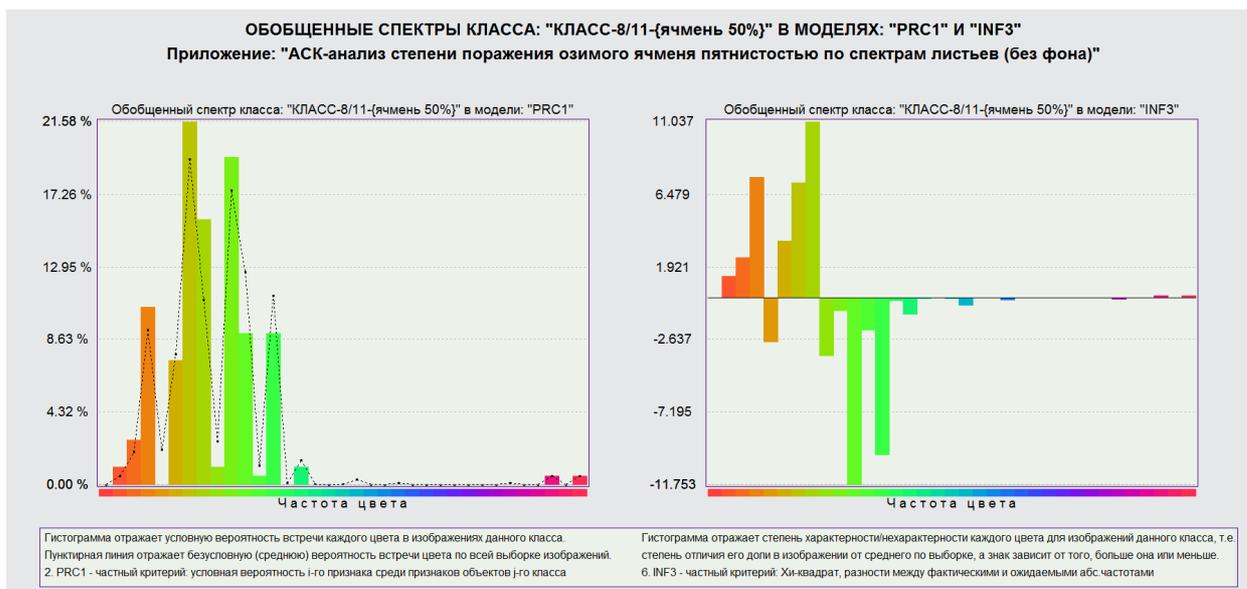
7.3.5.2. Обобщенные спектры классов

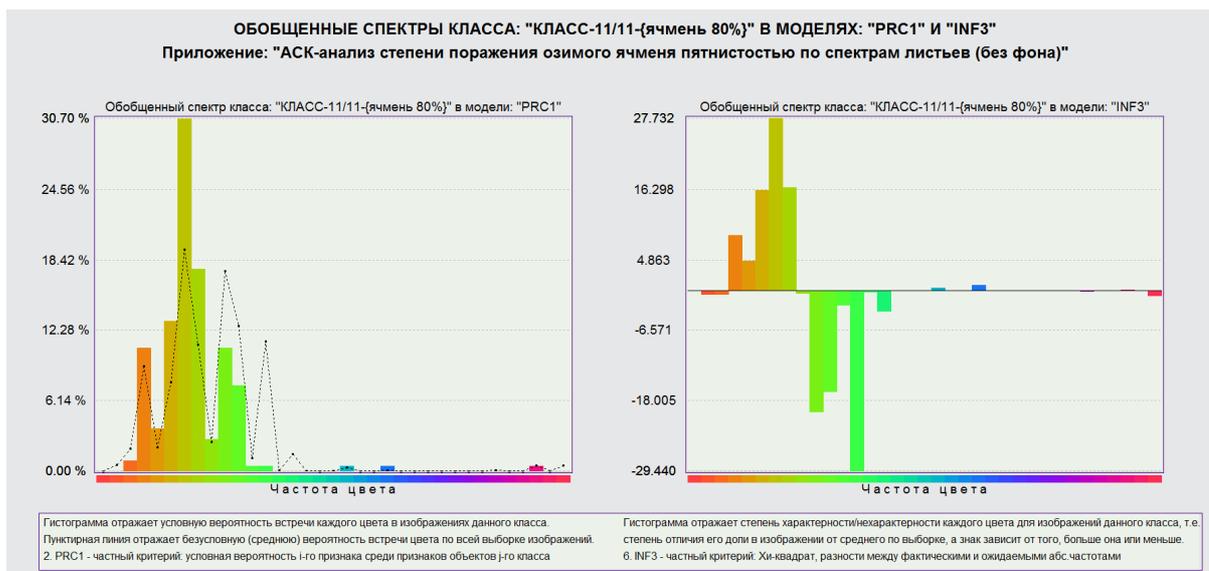
Из спектров исходных изображений, приведенных на рисунках 17, видно, что чем выше степень поражения пятнистостью, тем меньше доля зеленого цвета и выше красного. Но это видно на качественном уровне. Количественное сравнение проведено в системе путем формирования обобщенных спектров классов, которые сравнивались друг с другом (рисунки 18):











Рисунки 18. Примеры обобщенных спектров классов изображений листьев ячменя, в различной степени пораженных сетчатой пятнистостью.

Из рисунков 18 можно понять, каким образом производилось сравнение обобщенных спектров классов друг с другом.

На рисунке слева мы видим относительную частоту, т.е. упрощенно говоря *условную вероятность*¹ встречи цветов оптического спектра в каждом классе (обозначено высотой колонки цвета в гистограмме) и в среднем по всей выборке исходных изображений, т.е. безусловную вероятность (обозначено пунктиром).

Видно, что в каждом классе некоторые цвета встречаются чаще, чем в среднем по выборке, а некоторые реже.

На рисунке справа показан результат сравнения условного спектра класса с безусловным спектром всей выборки. Для каждого цвета спектра этот результат сравнения включает знак и модуль.

Если вероятность встречи цвета в классе выше, чем средняя по всей выборке, то мы видим соответствующий цвет спектра в виде колонки *выше нуля*.

Если вероятность встречи цвета в классе ниже, чем средняя по всей выборке, то мы видим соответствующий цвет спектра в виде колонки *ниже нуля*.

Модуль колонки каждого цвета отражает степень отличия условной вероятности встречи этого цвета в данном классе от безусловной вероятности его встречи по всей выборке.

Положительные цвета на картинке справа можно считать характерными для данного класса, а отрицательные – не характерными, степень отличия от нуля – отражает степень этой характерности или не характерности.

Из сравнения обобщенных спектров классов на рисунках 18 видно, что чем ниже степень поражения листьев пятнистостью, тем более характерными

¹ При неограниченном увеличении объема выборки относительная частота стремится к вероятности, как пределу.

является зеленый цвет листьев и менее характерным – красный, чем выше степень поражения, тем выше характерность красного цвета и ниже характерность зеленого.

Справа показано количество информации в цвете каждого спектрального диапазона о принадлежности объекта с этим цветом к данному классу. Если в данном классе условная вероятность встретить пиксели этого цвета выше, чем безусловная вероятность его встречи в среднем по всей выборке, то данный спектральный диапазон является характерным для данного класса, если ниже, чем по всей выборке – то не характерным, если же условная вероятность встречи пикселей данного спектрального диапазона близка к безусловной (средней по всей выборке), то обнаружение данного цвета у конкретного изображения ничего не говорит о принадлежности или непринадлежности данного изображения к этому классу.

По полученным результатам, видно, что программа четко разграничивает по встречаемым цветам листья на разные проценты поражения, определяет вероятность встречи цвета по изучаемому классу, сохраняет в базе данных, после чего, можно загружать десятки и сотни отсканированных листьев, и программа безошибочно и быстро отнесет к определенному классу поражения, что значительно ускоряет и облегчает процесс для исследователя. При большой изучаемой выборке, в будущем, можно будет создавать базу данных для каждого конкретного сорта и болезни и проводить анализ устойчивости или восприимчивости сорта в разных агроклиматических условиях по годам исследования и даже по расам патогенов.

По сути это означает, что система «Эйдос» в определенной степени автоматизирует те методы анализа, которые применяет эксперт - фитопатолог, чем существенно повышает качество его работы и уменьшает ее трудоемкость.

Количественные оценки этих параметров делаются на основе аналитических выражений для частных критериев, на основе которых рассчитываются модели в системе «Эйдос» (таблица 2):

Таблица 2. Частные критерии знаний, используемые в АСК-анализе и системе «Эйдос-Х++»

Наименование модели знаний и частный критерий	Выражение для частного критерия	
	через относительные частоты	через абсолютные частоты
INF1 , частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 1-й вариант расчета относительных частот: N_j – суммарное количество признаков по j -му классу. Относительная частота того, что если у объекта j -го класса обнаружен признак, то это i -й признак	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$
INF2 , частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 2-й вариант расчета относительных частот: N_j – суммарное количество объектов по j -му классу. Относительная частота того, что если	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$

предъявлен объект j -го класса, то у него будет обнаружен i -й признак.		
INF3 , частный критерий: Хи-квадрат: разности между фактическими и теоретически ожидаемыми абсолютными частотами	---	$I_{ij} = N_{ij} - \frac{N_i N_j}{N}$
INF4 , частный критерий: ROI - Return On Investment, 1-й вариант расчета относительных частот: N_j – суммарное количество признаков по j -му классу	$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} - 1$
INF5 , частный критерий: ROI - Return On Investment, 2-й вариант расчета относительных частот: N_j – суммарное количество объектов по j -му классу	$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} - 1$
INF6 , частный критерий: разность условной и безусловной относительных частот, 1-й вариант расчета относительных частот: N_j – суммарное количество признаков по j -му классу	$I_{ij} = P_{ij} - P_i$	$I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$
INF7 , частный критерий: разность условной и безусловной относительных частот, 2-й вариант расчета относительных частот: N_j – суммарное количество объектов по j -му классу	$I_{ij} = P_{ij} - P_i$	$I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$

Обозначения:

- i – значение прошлого параметра;
- j - значение будущего параметра;
- N_{ij} – количество встреч j -го значения будущего параметра при i -м значении прошлого параметра;
- M – суммарное число значений всех прошлых параметров;
- W - суммарное число значений всех будущих параметров.
- N_i – количество встреч i -м значения прошлого параметра по всей выборке;
- N_j – количество встреч j -го значения будущего параметра по всей выборке;
- N – количество встреч j -го значения будущего параметра при i -м значении прошлого параметра по всей выборке.
- I_{ij} – частный критерий знаний: количество знаний в факте наблюдения i -го значения прошлого параметра о том, что объект перейдет в состояние, соответствующее j -му значению будущего параметра;
- Ψ – нормировочный коэффициент (Е.В.Луценко, 2002), преобразующий количество информации в формуле А.Харкевича в биты и обеспечивающий для нее соблюдение принципа соответствия с формулой Р.Хартли;
- P_i – безусловная относительная частота встречи i -го значения прошлого параметра в обучающей выборке;
- P_{ij} – условная относительная частота встречи i -го значения прошлого параметра при j -м значении будущего параметра .

7.3.5.3. Экранные формы с результатами диагностики

Для выполнения диагностики, т.е. определения степени сходства конкретных листьев с обобщенными образами классов по их спектрам необходимо выполнить режим 4.1.2 в наиболее достоверной модели INF3, которая ранее была сделана текущей. Результаты диагностики могут быть выведены во многих экранных формах и таблицах, которые сгруппированы в режиме 4.1.3. Вывод результатов распознавания (рисунок 19):

4.1.3. Вывод результатов распознавания

- 4.1.3.1. Подробно наглядно: "Объект - классы"
- 4.1.3.2. Подробно наглядно: "Класс - объекты"
- 4.1.3.3. Итоги наглядно: "Объект - класс"
- 4.1.3.4. Итоги наглядно: "Класс - объект"
- 4.1.3.5. Подробно сжато: "Объекты - классы"

- 4.1.3.6. Обобщ.форма по достов.моделей при разных интегральных крит.
- 4.1.3.7. Обобщ.стат.анализ результатов идент. по моделям и инт.крит.
- 4.1.3.8. Стат.анализ результ. идент. по классам, моделям и инт.крит.
- 4.1.3.9. Достоверность идент.объектов при разных моделях и инт.крит.
- 4.1.3.10. Достоверность идент.классов при разных моделях и инт.крит.
- 4.1.3.11. Распределения уровн.сходства при разных моделях и инт.крит.
- 4.1.3.12. Объединение в одной БД строк по самым достоверным моделям

Рисунок 19. Экранных формы и таблицы режима:
4.1.3. Вывод результатов распознавания

На рисунках 20 и 21 приведены экранные выходные формы 4.1.3.1 и 4.1.3.2 соответственно:

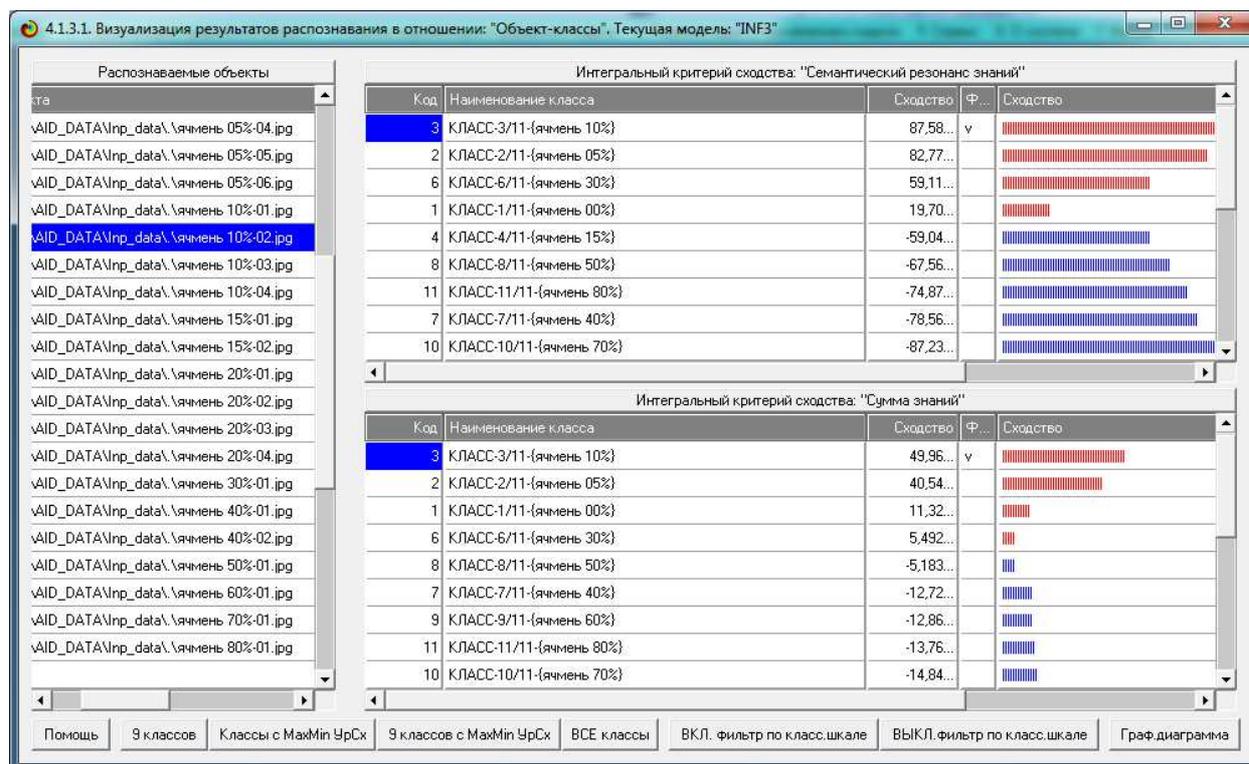


Рисунок 20. Экранная форма 4.1.3.1 с результатами диагностики
в разрезе: «Объект - классы»

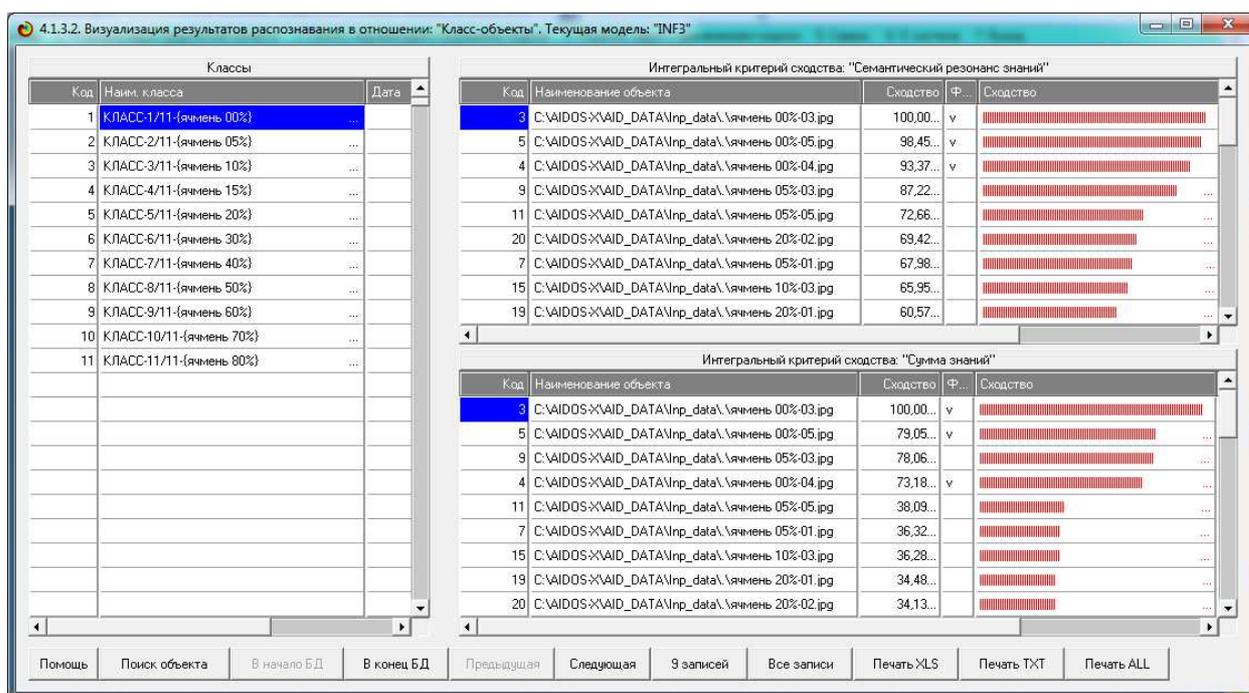


Рисунок 21. Экранная форма 4.1.3.2 с результатами диагностики в разрезе: «Класс - объекты»

«Птичками» обозначены результаты диагностики, соответствующие факту.

7.3.6. Исследование моделируемой предметной области путем исследования ее модели

Система «Эйдос» включает много различных возможностей исследования моделируемого объекта путем исследования его модели. Естественно, результаты этих исследований можно считать результатами исследования самого объекта моделирования в той степени, в какой модель верно отражает его свойства, т.к. в какой она адекватна.

В частности это следующие возможности исследования:

- информационные портреты классов;
- нелокальные нейроны и нейронная сеть;
- кластерно-конструктивный анализ;
- автоматизированный SWOT-анализ;
- когнитивные функции

и другие. Кратко рассмотрим ниже эти возможности.

7.3.6.1. Информационные портреты классов и признаков

Информационный портрет класса представляет собой список признаков, ранжированный в порядке убывания степени их характерности для данного класса (Луценко Е.В., 1987) (рисунок 22):

Из этой экранной формы на рисунке 22 видно, что зеленые цвета являются наиболее характерными для листьев ячменя с отсутствием поражения пятнистостью.

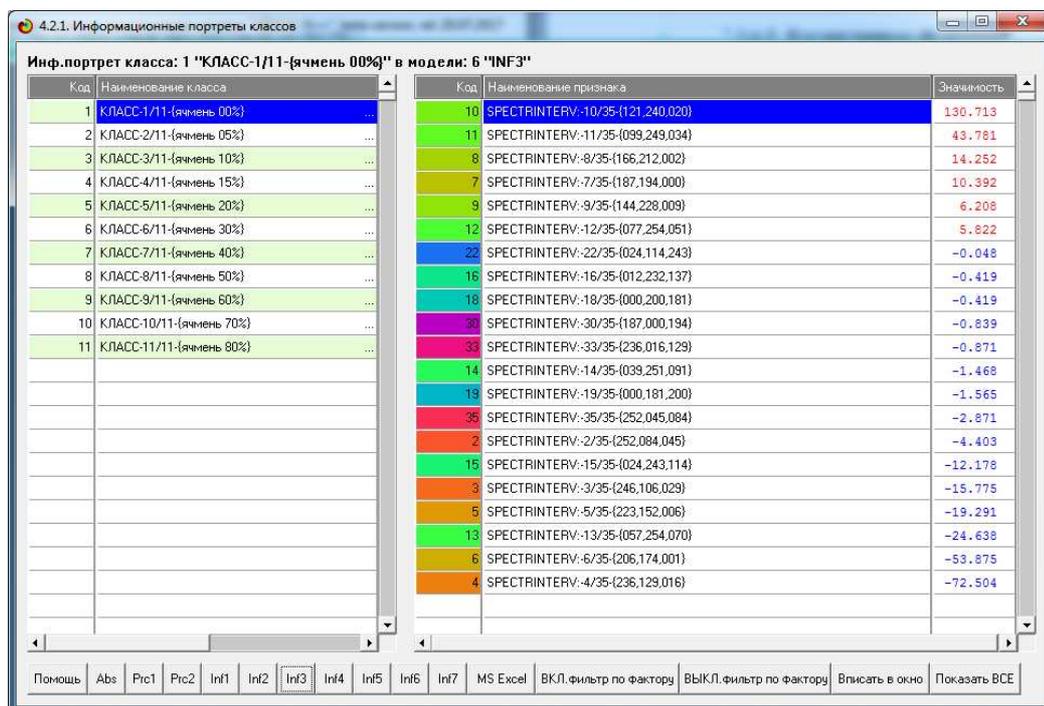


Рисунок 22. Экранная форма режима 4.2.1 с информационным портретом класса: «ячмень 00%»

Информационный портрет признака представляет собой список классов, ранжированный в порядке убывания количества информации в признаке и принадлежности объектов к классам (рисунок 23):

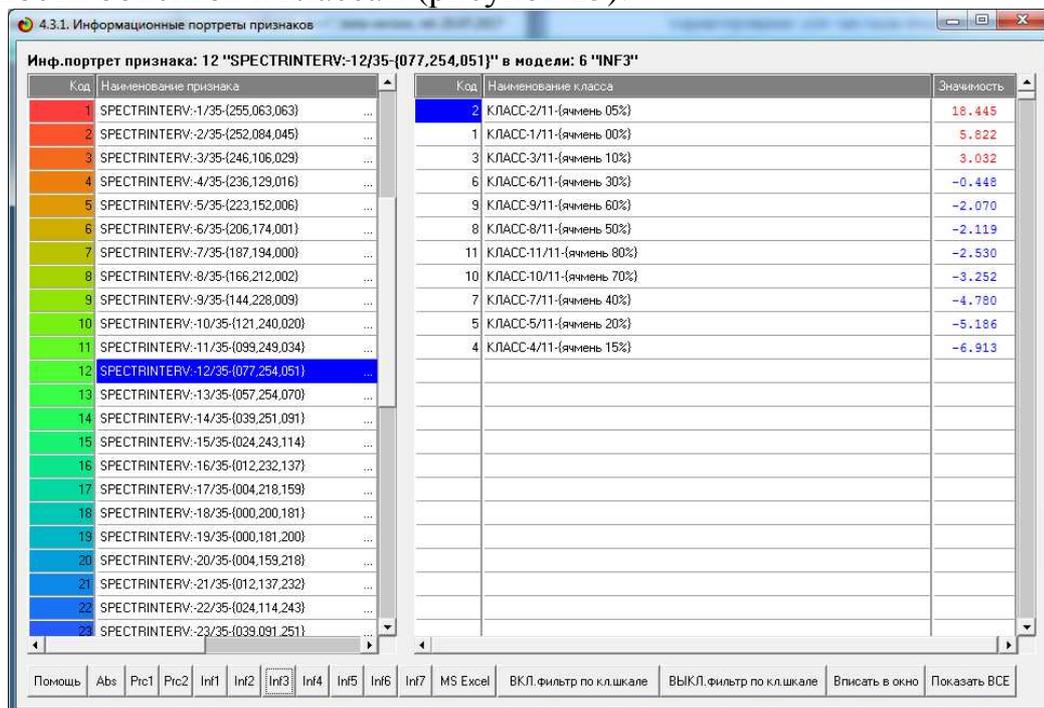


Рисунок 23. Экранная форма режима 4.3.1 с информационным портретом признака: «Спектральный диапазон 1/12-зеленый»

Из рисунка 23 видно, что наличие этого цвета в листе несет информацию о том, что у него низкая степень поражения пятнистостью либо оно вообще отсутствует.

7.3.6.2. SWOT-анализ

Автоматизированный swot-анализ предложен и реализован проф. Е.В. Луценко в 2014 году.

Он представляет ту же информацию, что и в информационных портретах, классов и признаков, но в более традиционной и привычной для многих форме: в форме SWOT-таблиц (рисунки 23 и 24) и SWOT-диаграмм (рисунки 25 и 26):

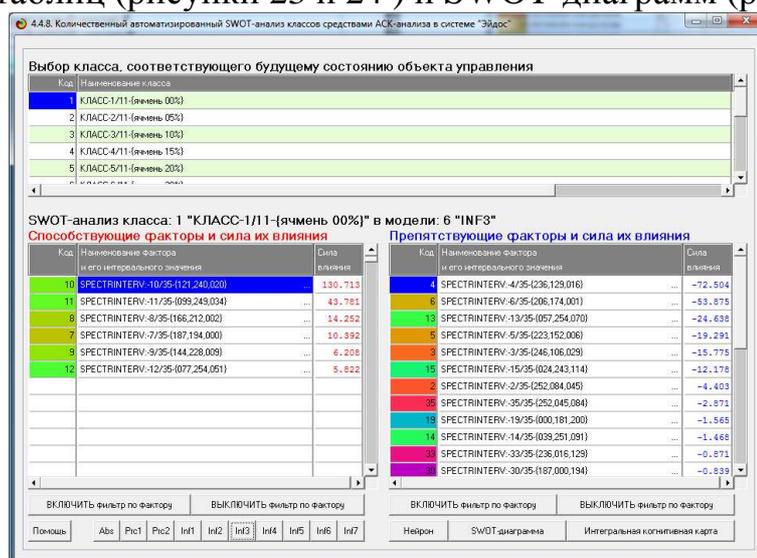


Рисунок 23. SWOT-таблица спектральных диапазонов, способствующих и препятствующих принадлежности листа ячменя к классу: «поражение пятнистостью отсутствует».

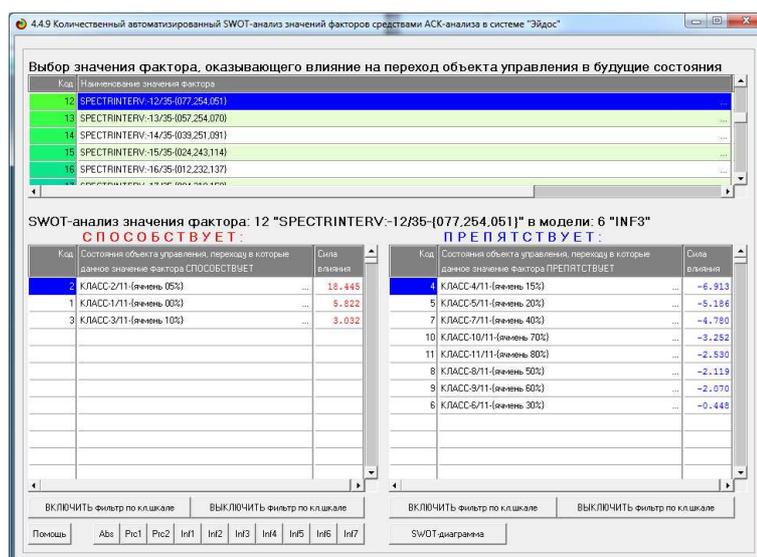


Рисунок 24. Инвертированная SWOT-таблица (Луценко Е.В., 2014), отражающая влияние спектрального диапазона 12/35-зеленый на принадлежность листьев ячменя с этим цветом к классам, соответствующим различной степени поражения пятнистостью

В SWOT-диаграммах отражена та же информация, что в SWOT-таблицах, но в графической форме.

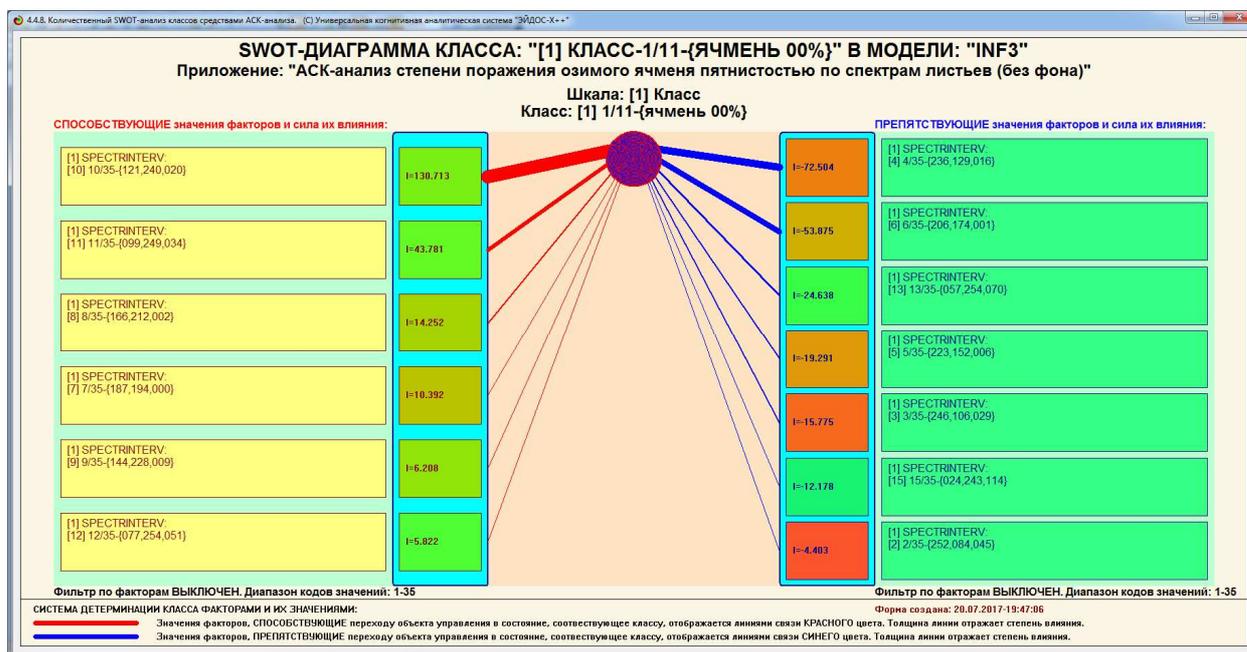


Рисунок 25. SWOT-диаграмма спектральных диапазонов, способствующих и препятствующих принадлежности листа ячменя к классу: «поражение пятнистостью отсутствует».

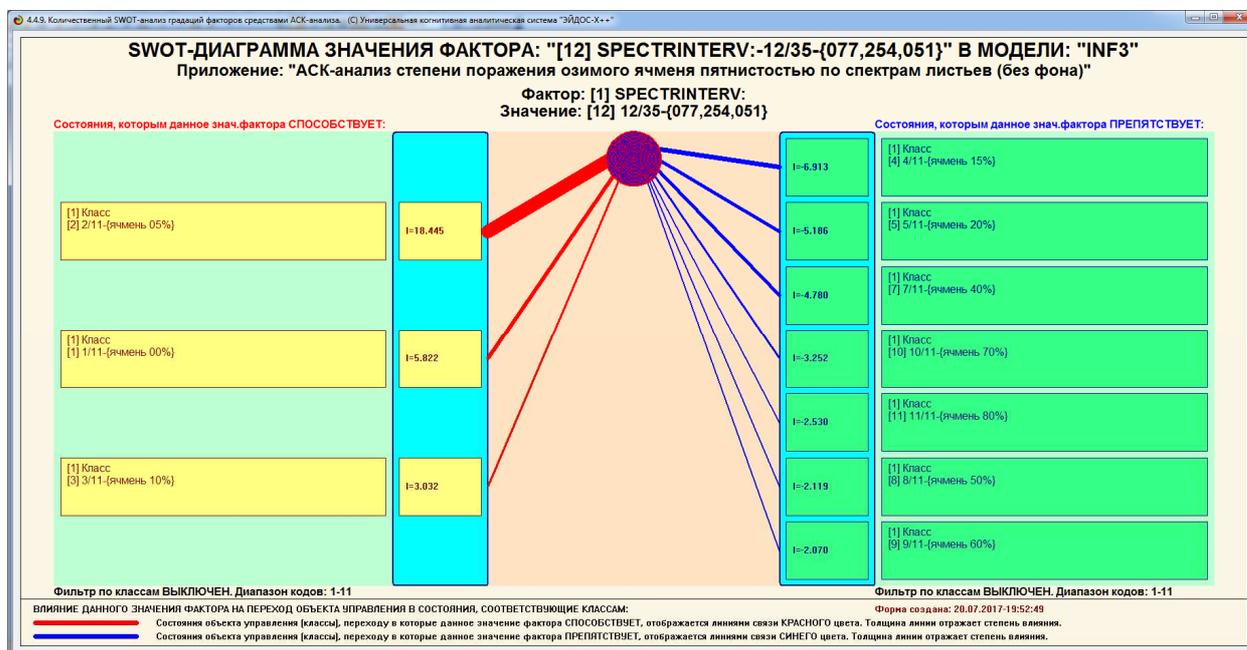


Рисунок 26. Инвертированная SWOT-диаграмма (Луценко Е.В., 2014), отражающая влияние спектрального диапазона 12/35-зеленый на принадлежность листьев ячменя с этим цветом к классам, соответствующим различной степени поражения пятнистостью

7.3.6.3. Нелокальная нейронная сеть и нейроны

В системе «Эйдос» используется оригинальная (Луценко Е.В., 1979) нечеткая декларативная гибридная модель знаний, имеющая наибольшее сходство с фреймовой и нейросетевой моделями.

Поэтому результаты анализа могут быть представлены в графических образах нейросетевой интерпретации (рисунки 27 и 28):

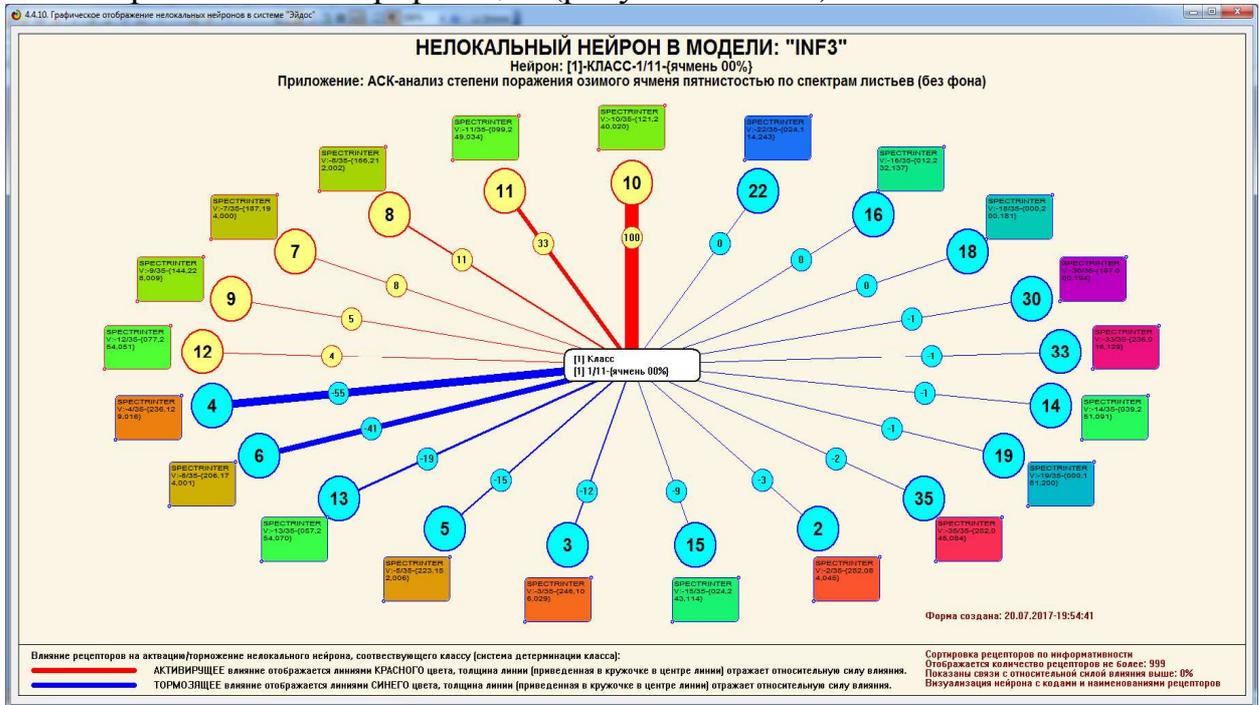


Рисунок 27. Пример нелокального нейрона

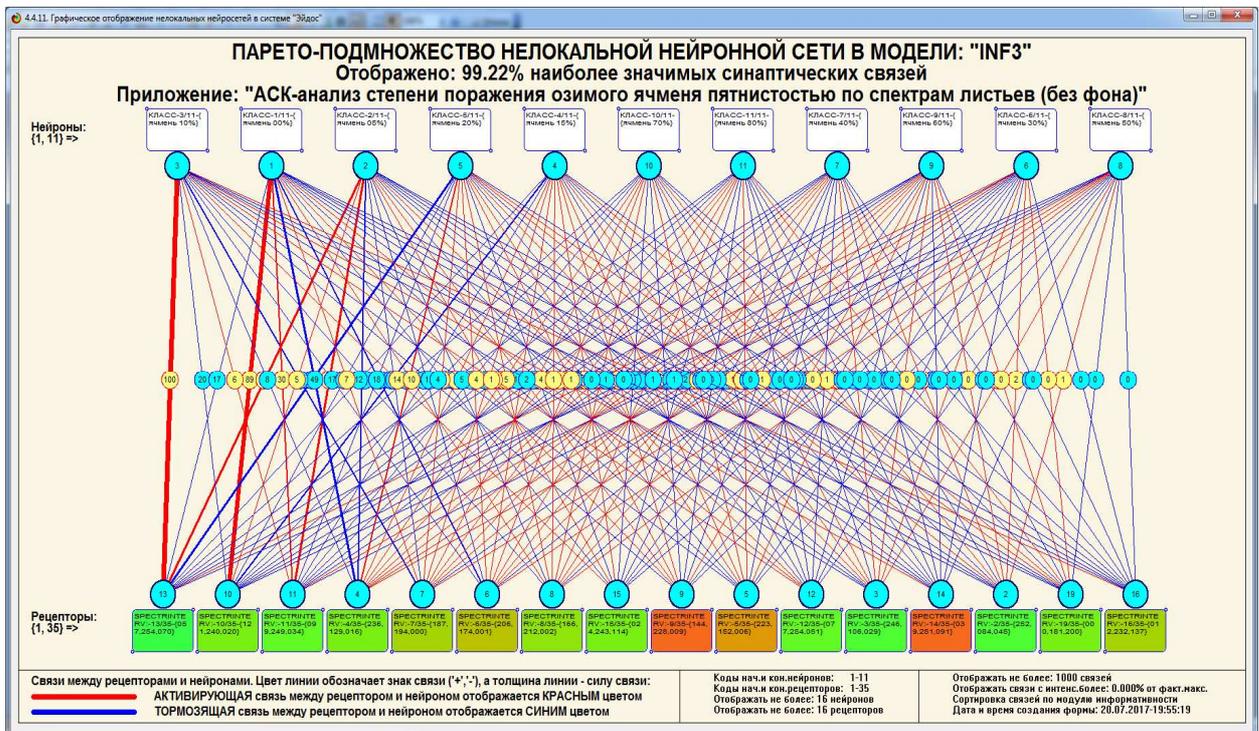


Рисунок 28. Парето-подмножество нелокальной нейронной сети

7.3.6.3. Кластерно-конструктивный анализ

Результаты сравнения друг с другом обобщенных образов классов могут быть представлены в форме матрицы сходства (таблица 3), а также экранных форм и когнитивных диаграмм (рисунки 29 и 30):

Таблица 3 – Матрица сходства классов в наиболее достоверной модели INF3

Код класса	Наименование класса	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
1	1/11-{ячмень 00%}	100,00	37,47	-21,35	-73,47	-36,91	-8,51	-49,57	-23,46	-61,83	-31,41	-39,29
2	2/11-{ячмень 05%}	37,47	100,00	67,71	-67,91	-89,47	62,86	-96,56	-89,62	-86,98	-95,53	-82,72
3	3/11-{ячмень 10%}	-21,35	67,71	100,00	-29,53	-75,75	69,32	-62,73	-64,72	-61,32	-77,37	-72,43
4	4/11-{ячмень 15%}	-73,47	-67,91	-29,53	100,00	56,73	-52,70	67,77	53,24	80,95	62,95	79,42
5	5/11-{ячмень 20%}	-36,91	-89,47	-75,75	56,73	100,00	-43,73	91,71	72,28	92,83	90,16	75,49
6	6/11-{ячмень 30%}	-8,51	62,86	69,32	-52,70	-43,73	100,00	-48,97	-72,13	-45,84	-69,43	-77,32
7	7/11-{ячмень 40%}	-49,57	-96,56	-62,73	67,77	91,71	-48,97	100,00	86,44	90,85	93,28	82,19
8	8/11-{ячмень 50%}	-23,46	-89,62	-64,72	53,24	72,28	-72,13	86,44	100,00	68,31	92,95	81,18
9	9/11-{ячмень 60%}	-61,83	-86,98	-61,32	80,95	92,83	-45,84	90,85	68,31	100,00	86,12	83,71
10	10/11-{ячмень 70%}	-31,41	-95,53	-77,37	62,95	90,16	-69,43	93,28	92,95	86,12	100,00	88,75
11	11/11-{ячмень 80%}	-39,29	-82,72	-72,43	79,42	75,49	-77,32	82,19	81,18	83,71	88,75	100,00

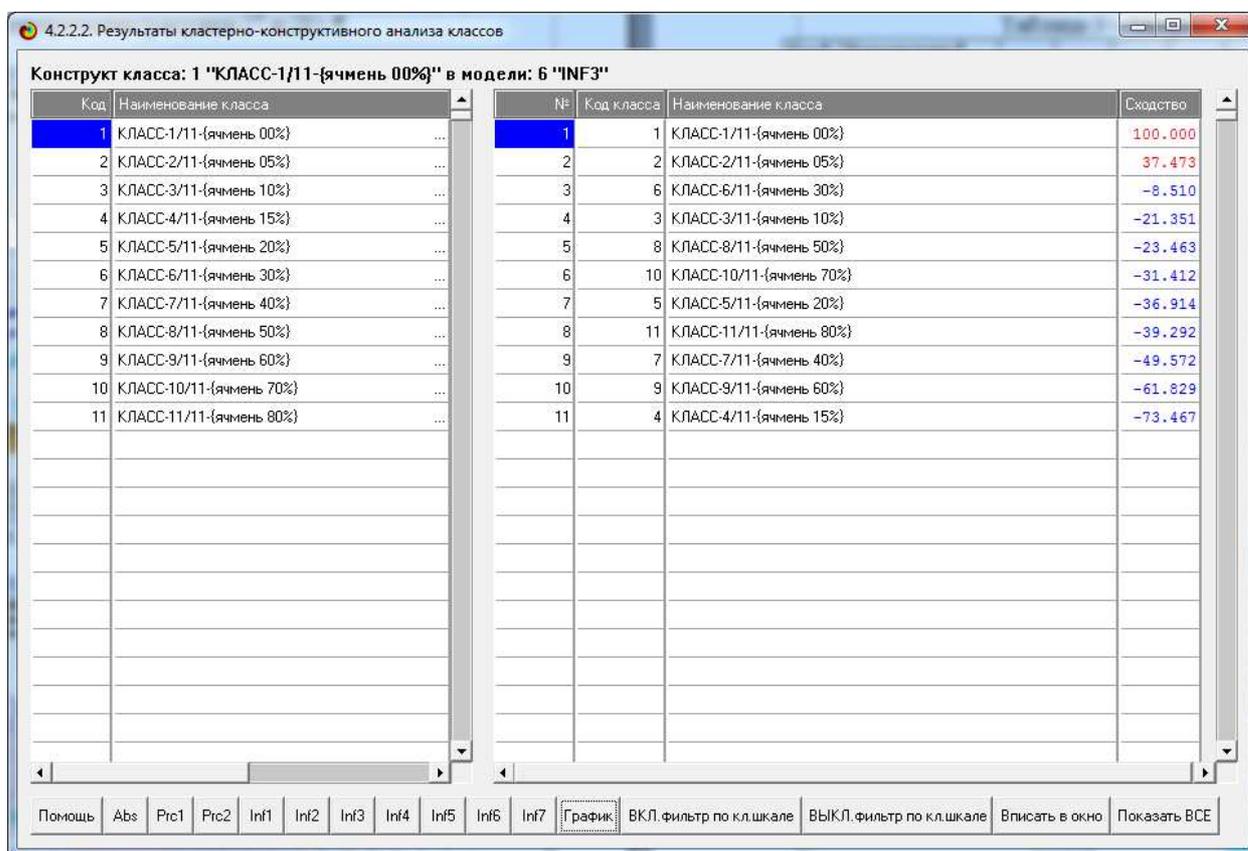


Рисунок 29. Экранная форма режима кластерно-конструктивного анализа классов (режим 4.2.2.2 системы «Эйдос»)

Матрица сходства может быть представлена в графической форме когнитивной диаграммы:

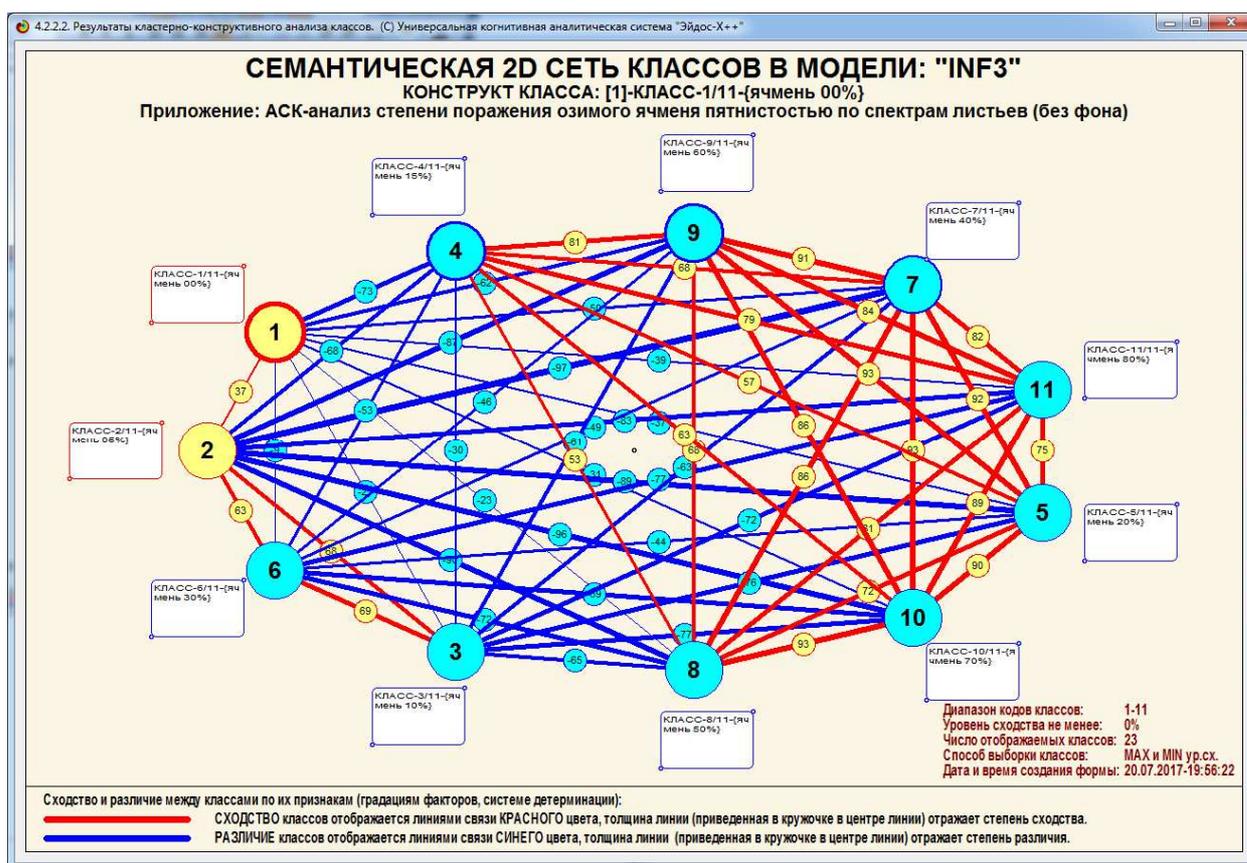


Рисунок 30. Когнитивная диаграмма сходства-различия обобщенных образов классов

Из этой когнитивной диаграммы видно, что классы образуют конструкт, на одном полюсе которого находится кластер из классов с низким уровнем поражения листьев озимого ячменя сетчатой пятнистостью: 0%, 5% и 10%, а также 30% (что вероятно связано с неточностями в экспертных оценках исходных данных, т.к. понятно, что вместо 30% должно быть 15%), а на другом полюсе кластер классов с высоким уровнем поражения: 15-80%.

Результаты сравнения друг с другом обобщенных образов признаков могут быть представлены в форме матрицы сходства (таблица 4), а также экранных форм и когнитивных диаграмм (рисунки 31 и 32):

Таблица 4 – Матрица сходства признаков: спектральных диапазонов в наиболее достоверной модели INF3 (фрагмент)

Код спектрального диапазона	Наименование спектрального диапазона (RGB)	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
1	1/35-{255,063,063}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2/35-{252,084,045}	100,00	93,57	88,24	59,12	75,03	19,60	12,96	-59,70	-58,72	-70,00
3	3/35-{246,106,029}	93,57	100,00	96,91	82,07	90,50	35,54	21,69	-46,21	-65,90	-83,70
4	4/35-{236,129,016}	88,24	96,91	100,00	85,70	93,39	39,85	29,43	-47,67	-67,07	-88,35
5	5/35-{223,152,006}	59,12	82,07	85,70	100,00	94,65	52,91	32,11	-16,57	-68,68	-87,63
6	6/35-{206,174,001}	75,03	90,50	93,39	94,65	100,00	59,12	42,22	-25,73	-70,00	-91,25
7	7/35-{187,194,000}	19,60	35,54	39,85	52,91	59,12	100,00	93,13	11,52	6,53	-60,75
8	8/35-{166,212,002}	12,96	21,69	29,43	32,11	42,22	93,13	100,00	7,55	26,33	-47,40
9	9/35-{144,228,009}	-59,70	-46,21	-47,67	-16,57	-25,73	11,52	7,55	100,00	27,87	51,10

10	10/35-{121,240,020}	-58,72	-65,90	-67,07	-68,68	-70,00	6,53	26,33	27,87	100,00	56,05
11	11/35-{099,249,034}	-70,00	-83,70	-88,35	-87,63	-91,25	-60,75	-47,40	51,10	56,05	100,00
12	12/35-{077,254,051}	-70,10	-82,13	-83,45	-81,53	-85,13	-65,68	-52,49	53,56	40,60	97,03
13	13/35-{057,254,070}	-30,33	-44,88	-48,05	-52,18	-58,50	-91,20	-89,80	-16,84	-14,06	53,26
14	14/35-{039,251,091}	9,05	1,44	4,35	-7,63	-13,69	-63,51	-63,89	-69,91	-34,57	-7,52
15	15/35-{024,243,114}	-2,58	-0,66	-3,60	13,45	1,03	-46,98	-64,66	-25,98	-58,02	-9,27
16	16/35-{012,232,137}	9,05	1,44	4,35	-7,63	-13,69	-63,51	-63,89	-69,91	-34,57	-7,52
17	17/35-{004,218,159}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	18/35-{000,200,181}	-19,79	-31,82	-30,70	-36,68	-39,83	-87,56	-86,03	-9,11	-35,80	44,75
19	19/35-{000,181,200}	59,22	79,33	81,23	83,32	75,29	24,54	6,70	-23,55	-55,70	-66,98
20	20/35-{004,159,218}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	21/35-{012,137,232}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	22/35-{024,114,243}	-18,89	5,99	13,23	48,06	38,55	62,27	45,58	44,84	-15,37	-26,36
23	23/35-{039,091,251}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	24/35-{057,070,254}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	25/35-{077,051,254}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	26/35-{099,034,249}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	27/35-{121,020,240}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	28/35-{144,009,228}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	29/35-{166,002,212}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	30/35-{187,000,194}	49,58	75,26	77,17	88,74	79,71	40,38	24,78	-0,80	-48,74	-69,43
31	31/35-{206,001,174}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	32/35-{223,006,152}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	33/35-{236,016,129}	28,22	1,09	-4,31	-34,94	-16,93	-48,49	-37,45	-41,98	-20,70	20,85
34	34/35-{246,029,106}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	35/35-{252,045,084}	65,72	66,30	64,35	64,59	70,77	18,81	5,56	-26,61	-74,39	-63,26

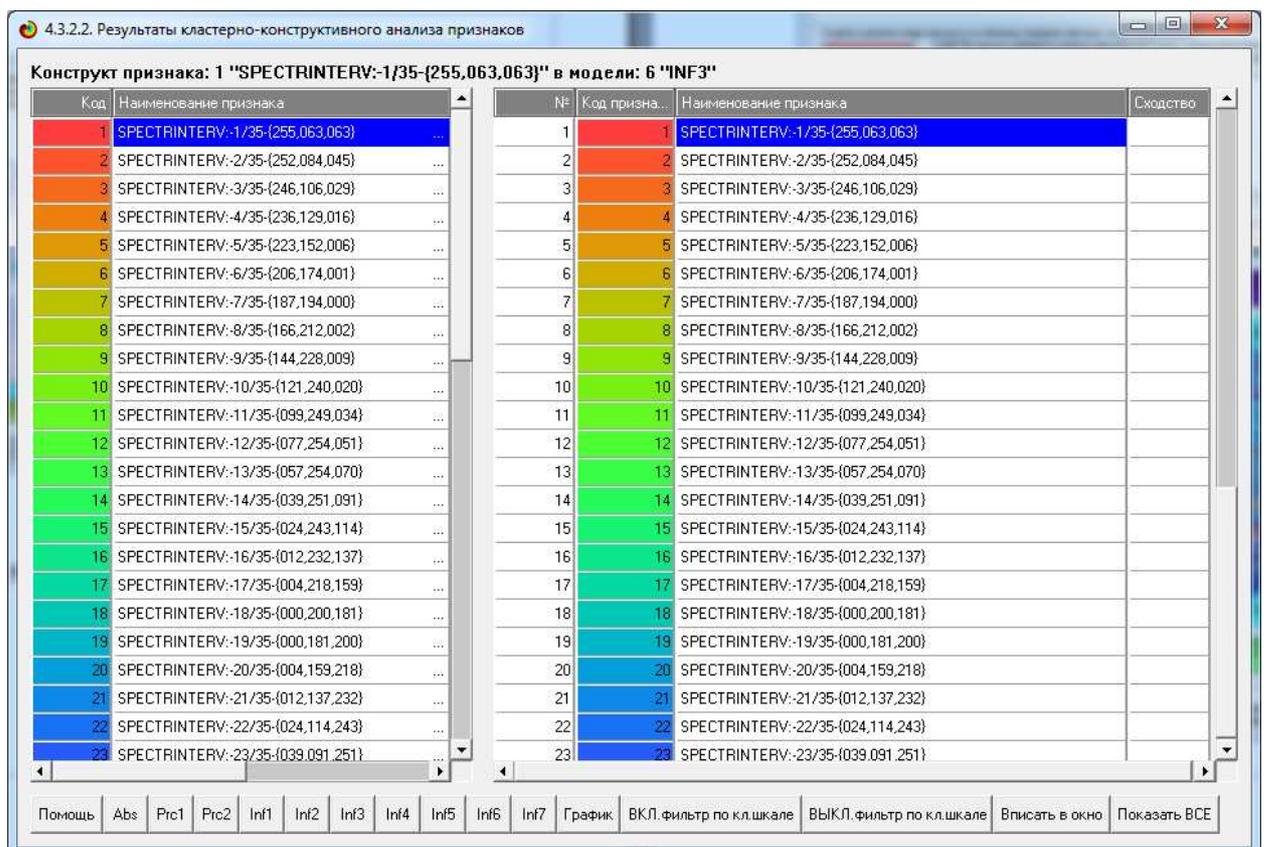


Рисунок 31. Экранная форма режима кластерно-конструктивного анализа признаков (режим 4.3.2.2 системы «Эйдос»)

Матрица сходства может быть представлена в графической форме когнитивной диаграммы:

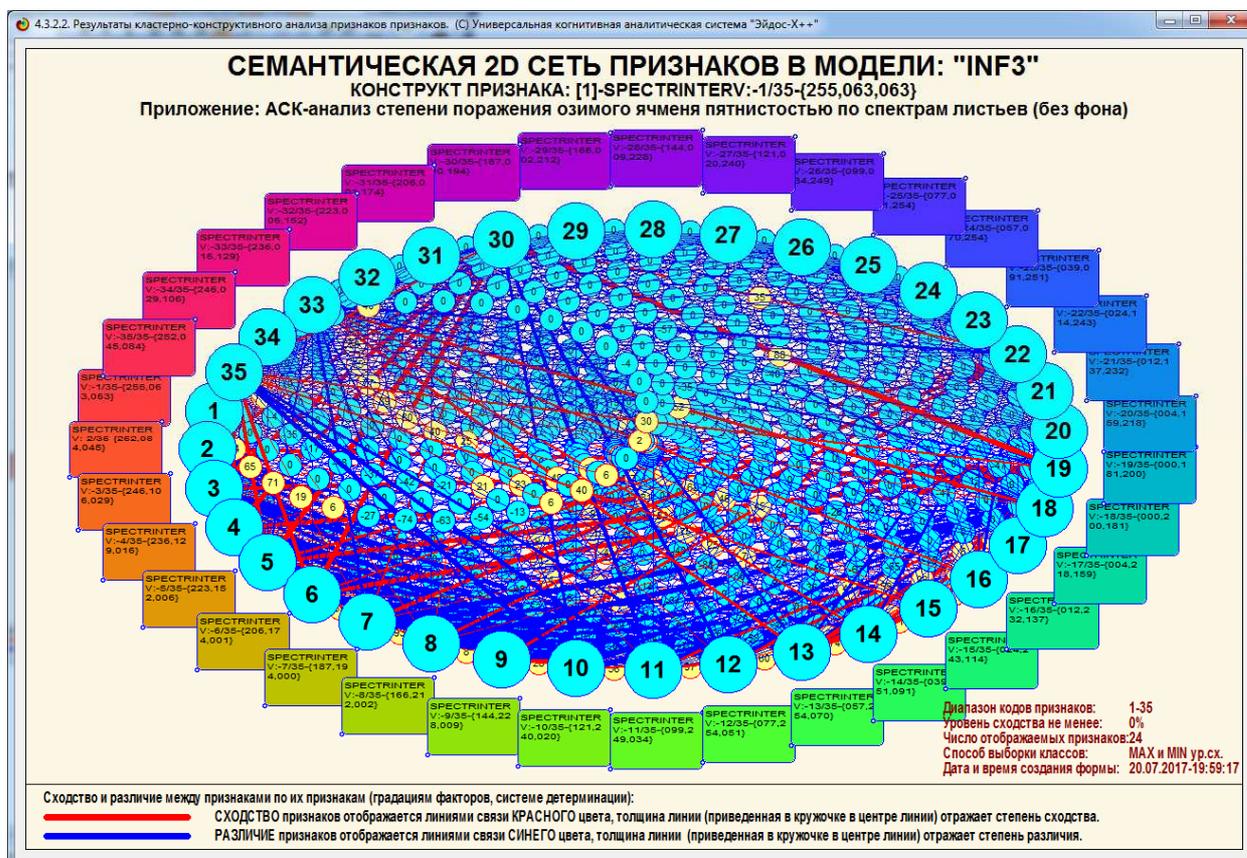


Рисунок 32. Когнитивная диаграмма сходства-различия обобщенных образов признаков (спектральных диапазонов)

Конечно линии сходства-различия спектральных диапазонов по их смыслу на рисунке 32 плохо различимы. Но этот рисунок интересен не линиями связи, а тем, что спектральные диапазоны явно расположены в порядке оптического спектра и, таким образом, образуют осмысленную числовую измерительную шкалу, которая может быть использована для диагностики листьев ячменя. Видно, что весь цветовой диапазон делится на 4 основных кластера, внутри которых цвета имеют сходный смысл:

- зеленый кластер;
- фиолетовый кластер;
- красный кластер;
- синий кластер.

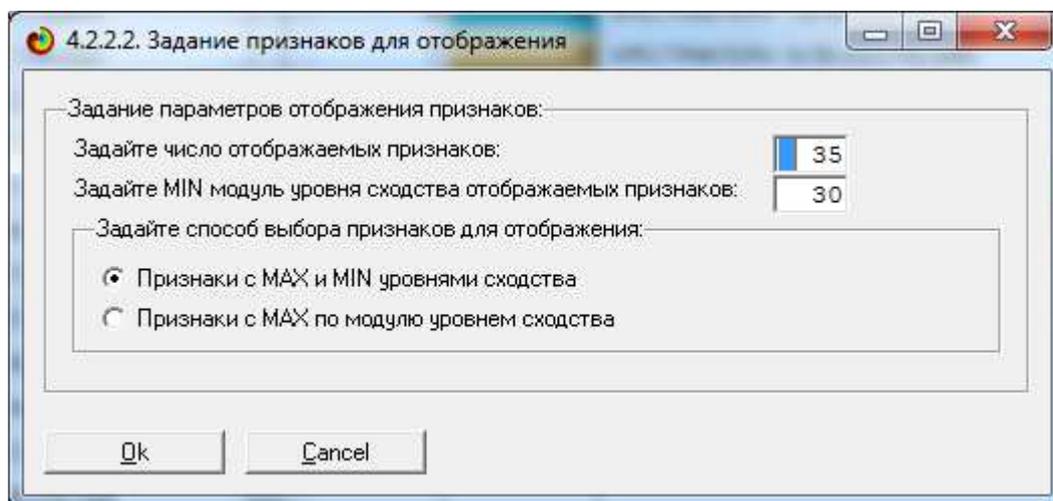
Эти 4 кластера образуют полюса 2 конструктов (полюса конструктов имеют противоположный смысл):

- зелено-фиолетовый конструкт;
- красно-синий конструкт.

Полюса конструктов имеют противоположный смысл: зеленые цвета противоположны по смыслу фиолетовым, а красные – синим.

Обратимся теперь к линиям связи, отражающим знак и величину сходства-различия спектральных диапазонов (признаков) по их смыслу.

Для уменьшения числа связей, отображаемых на когнитивной диаграмме кликнем на экранной форме, представленной на рисунке 31, на кнопку: «Вписать в окно» и на появившемся окне зададим ограничение на величину отображаемых связей: 30:



Тогда экранная форма, показанная на рисунке 31 примет вид (рисунок 33):

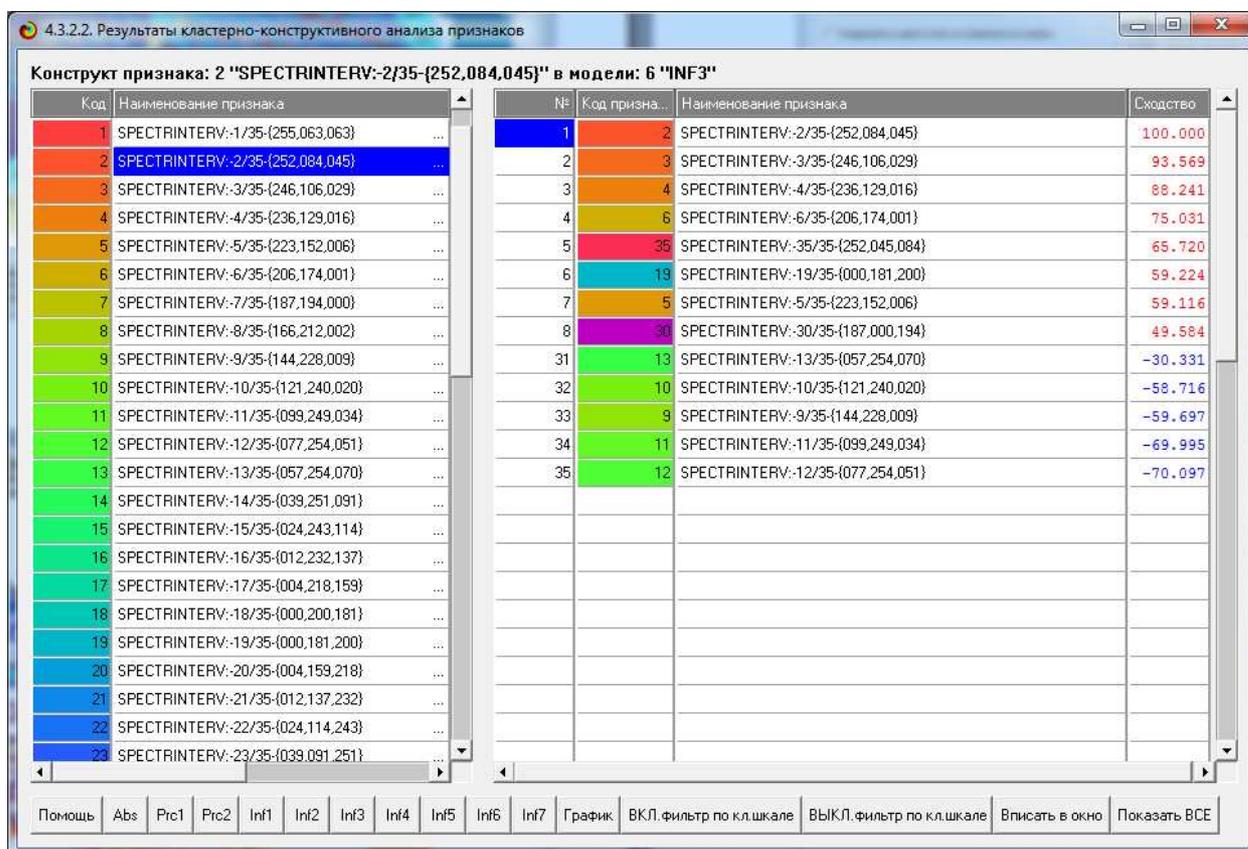


Рисунок 33. Экранная форма режима кластерно-конструктивного анализа признаков 4.3.2.2. с фильтром по силе связей

Соответствующая когнитивная диаграмма представлена на рисунке 34:

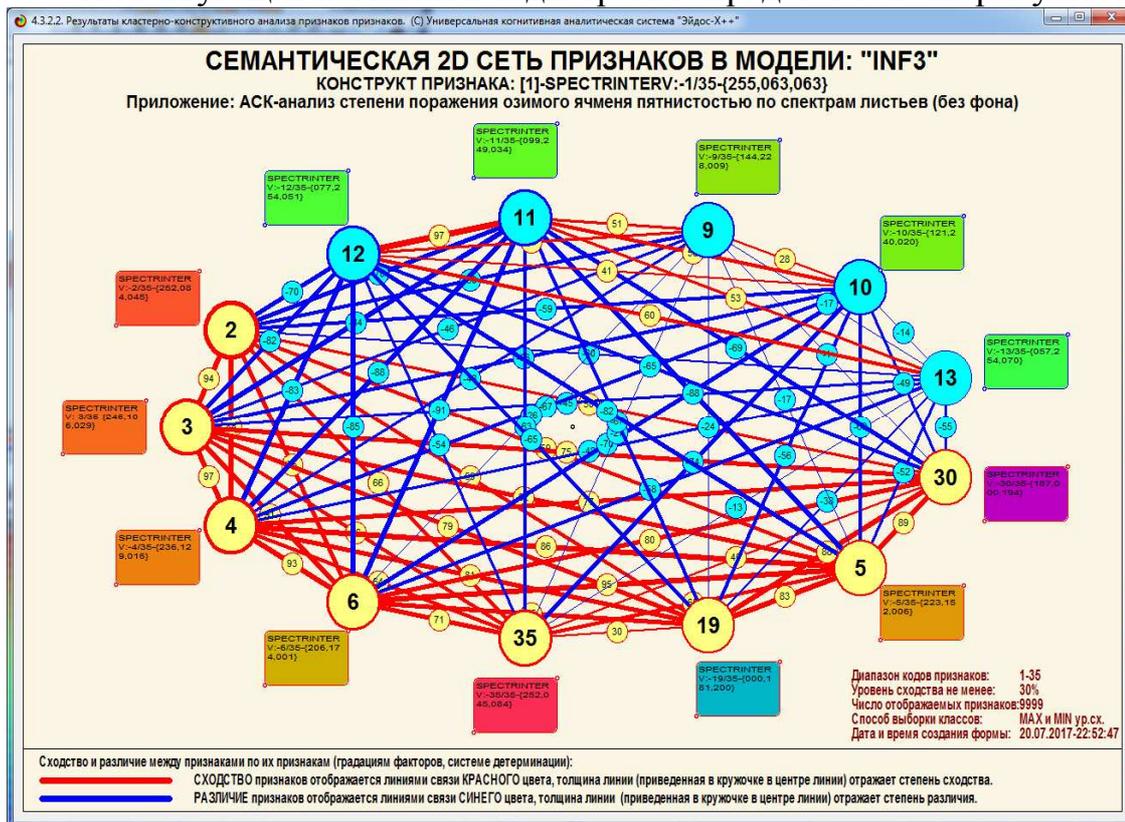


Рисунок 34. Когнитивная диаграмма сходства-различия обобщенных образов признаков (спектральных диапазонов) 4.3.2.2. с фильтром по силе связей

Из этой когнитивной диаграммы видно, что спектральные диапазоны группируются в два кластера, образующих противоположные по смыслу полюса конструкта:

- зеленый кластер;
- красно-оранжевый и (в меньшей степени) сине-фиолетовый кластер.

7.3.6.5. Интегральные когнитивные карты

В DOS-версии системы «Эйдос», которая развивалась до 2012 года, был режим визуализации интегральных когнитивных карт. Летом 2017 года аналогичный режим реализован и в новой версии «Эйдос-X++». Это режим обеспечивает визуализацию Перето-подмножества выбранной модели одновременно сразу в трех видах:

- Перето-подмножества нелокальной нейронной сети;
- когнитивной диаграммы по результатам кластерно-конструктивного анализа классов (нейронов);
- когнитивной диаграммы по результатам кластерно-конструктивного анализа признаков (рецепторов).

Режим задания параметров визуализации интегральной когнитивной карты аналогичен используемому при визуализации нейронных сетей (рисунок 35). Сама интегральная когнитивная карта приведена на рисунке 36.

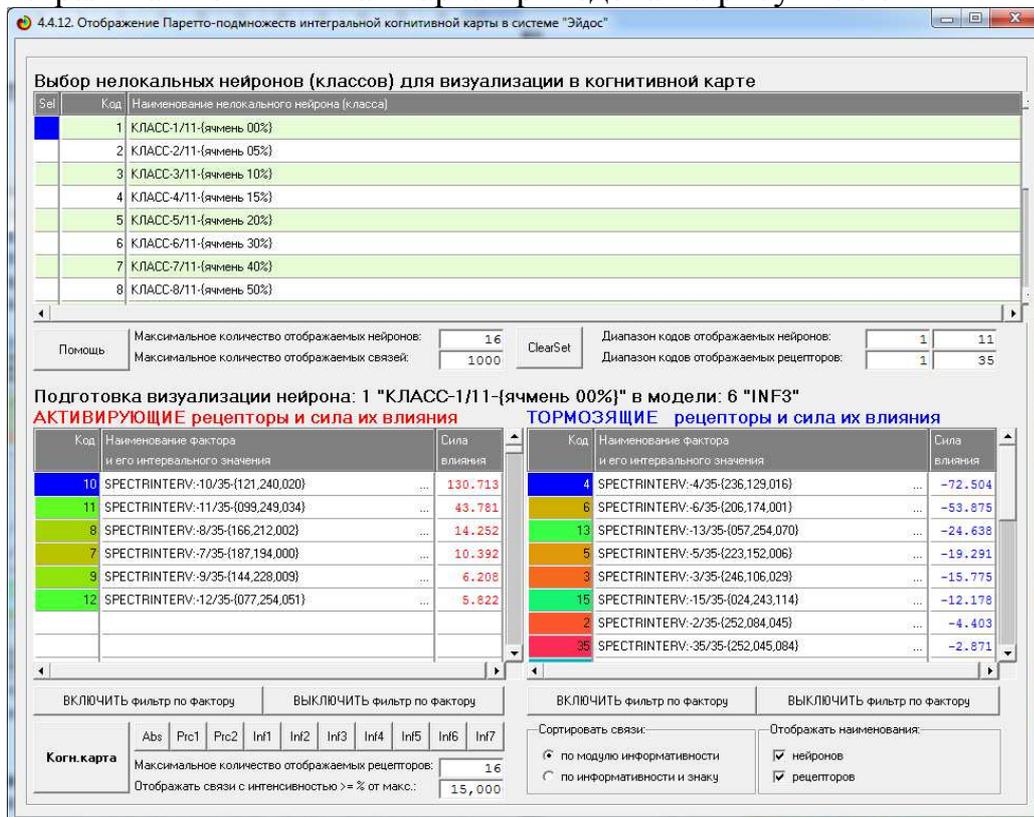


Рисунок 35. Экранная форма задания параметров визуализации Парето-подмножества интегральной когнитивной карты (режим 4.4.12 системы «Эйдос»)

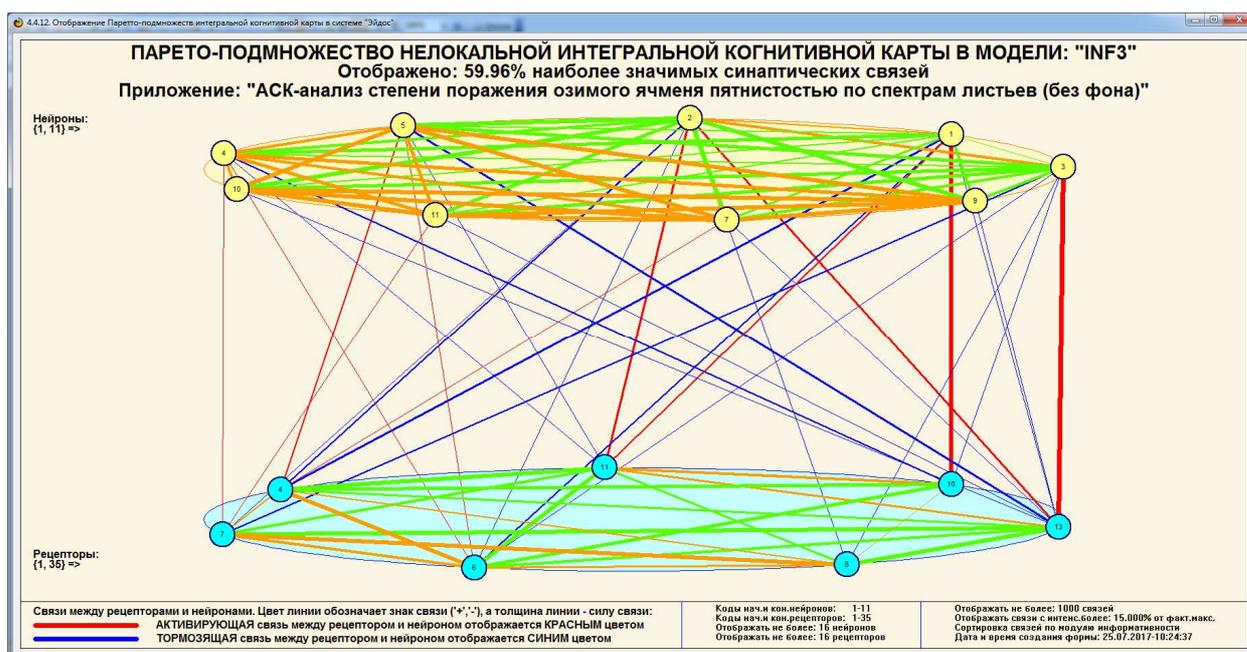


Рисунок 36. Парето-подмножество интегральной когнитивной карты (режим 4.4.12 системы «Эйдос»)

7.3.6.6. Когнитивные функции

Когнитивные функции – это мощный метод выявления и визуализации причинно-следственных зависимостей (Луценко Е.В., 2005). Они наглядно демонстрируют знак и степень влияния значений фактора (т.е. градаций описательной шкалы) на принадлежность моделируемого объекта к классам одной классификационной шкалы.

На рисунке 35 показана экранная форма задания параметров визуализации когнитивных функций, а на рисунках 36-38 сами когнитивные функции:

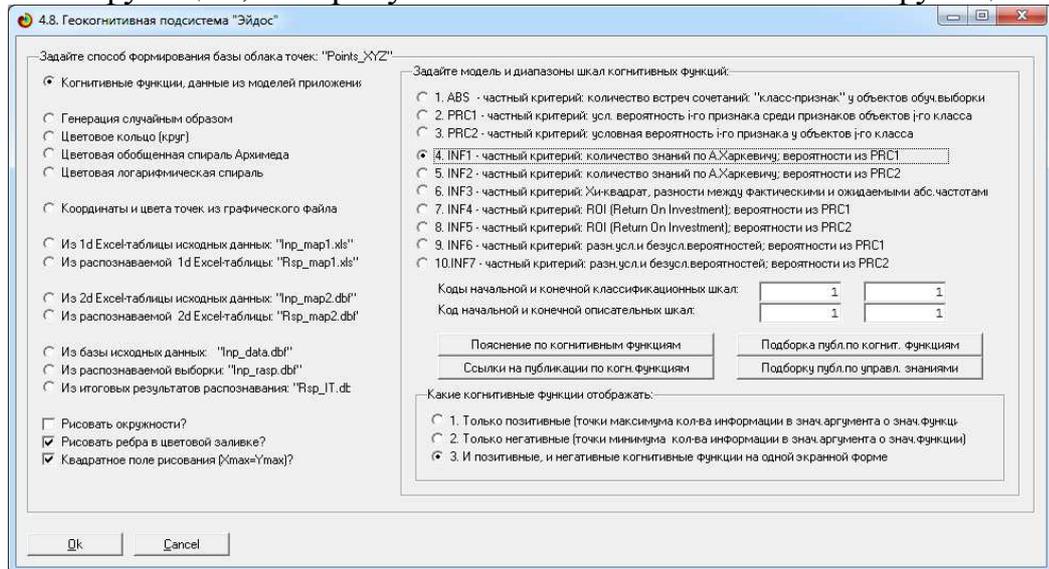


Рисунок 35. Экранная форма задания параметров визуализации когнитивных функций

Эта экранная форма появляется, если войти в режим 4.7. АСК-анализ изображений и кликнуть по кнопке: «Формирование облака точек».

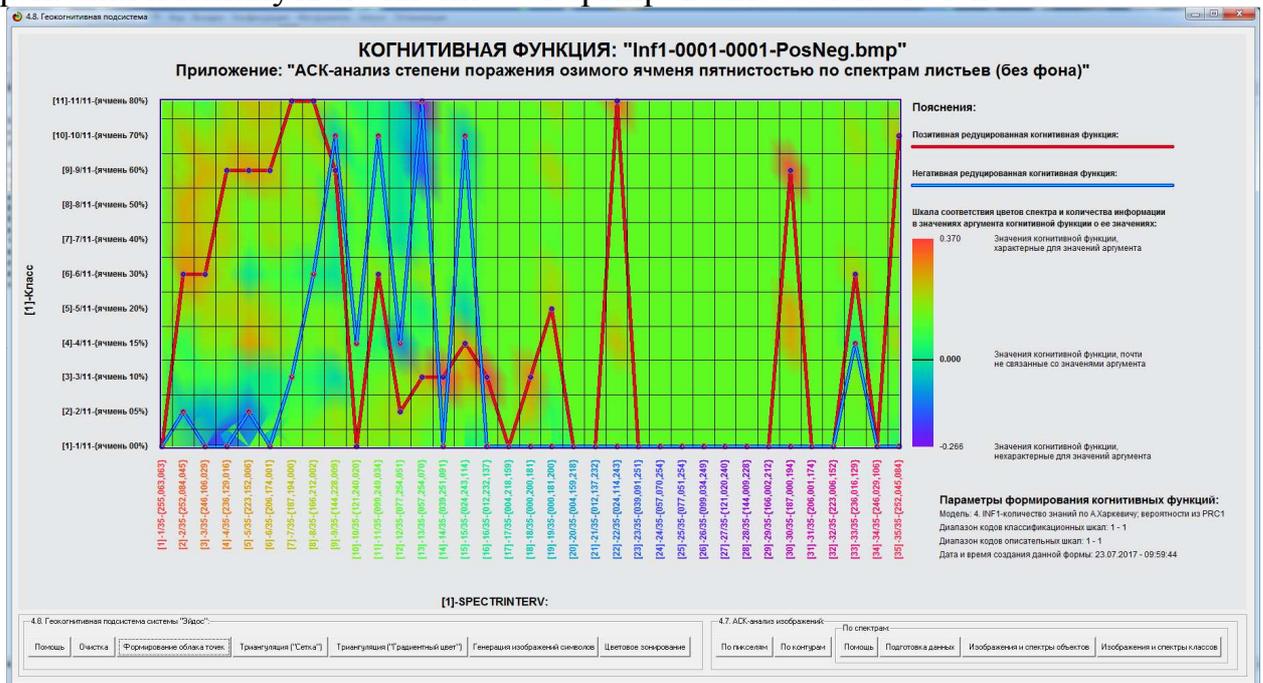


Рисунок 36. Позитивная и негативная когнитивные функции в модели INF1

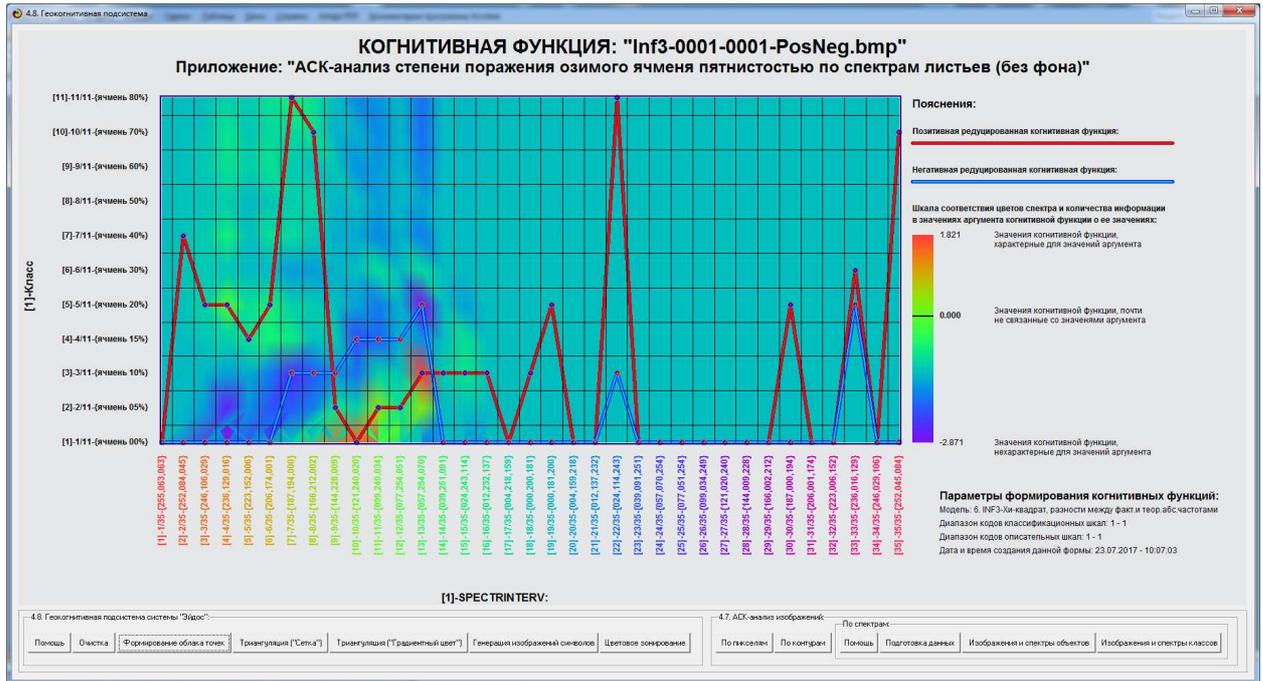


Рисунок 37. Позитивная и негативная когнитивные функции в модели INF3

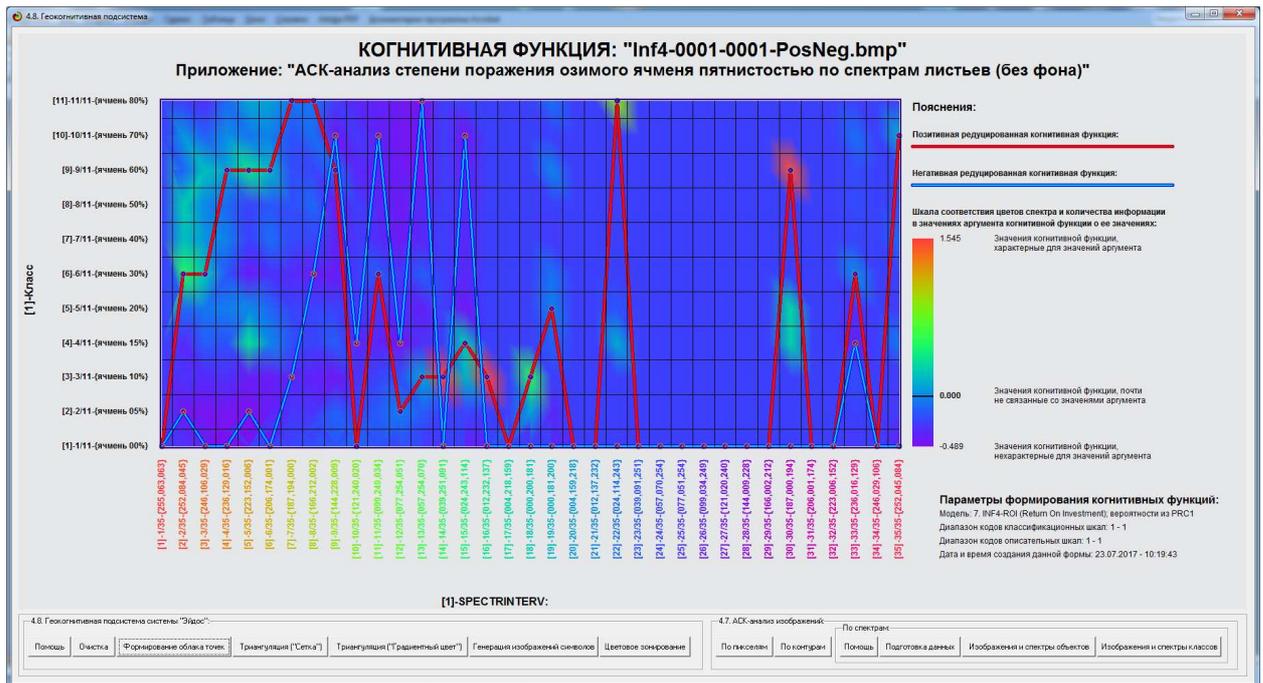


Рисунок 38. Позитивная и негативная когнитивные функции в модели INF4

Из этих когнитивных функций мы видим, как влияет каждый цветовой диапазон на принадлежность (для позитивных функций) и на непринадлежность (для негативных функций) листа озимого ячменя с этим цветом к различным классам по степени поражения сетчатой пятнистостью.

Всю когнитивную функцию можно условно разделить на три части по характеру поведения функции:

- красно-оранжевые цвета;
- зеленые цвета;
- сине-фиолетовые цвета.

Видно, что:

- чем для красно-оранжевых цветов в листе характерна высокая степень их поражения пятнистостью;
- для зеленых цветов низкая степень поражения;
- для сине-фиолетовых четкой картины по степени поражения нет.

Полученные результаты в общем согласуются с экспертными оценками, но, по-видимому, указывают на недостаточный объем исходных данных и неточности в их классификации экспертами на этапе обучения системы.

8. Эффективность предложенного решения проблемы (задача 4)

Как показывает анализ результатов численного эксперимента предложенное и реализованное в системе «Эйдос» решение поставленных задач является вполне эффективным, что позволяет обоснованно утверждать, что цель работы достигнута.

9. Ограничения и недостатки предложенного решения проблемы и перспективы его развития путем их преодоления этих ограничений и недостатков (задача 5)

Вместе с тем, было обнаружено, что некоторые классы оказались относящимися не к тем кластерам, к которым ожидалось.

Например, как видно из когнитивной диаграммы на рисунке 30, класс 30% поражения оказался в кластере: «Низкая степень поражения», а классы 15% и 20% в кластере: «Высокая степень поражения». Причины этого мы видим в определенной некорректности подбора исходных данных и их оценки экспертами. Для преодоления этого недостатка рекомендуется:

- увеличить объем исходных данных;
- для оценки исходных данных использовать группу экспертов;
- уменьшить число градаций в классификационной шкале;
- использовать специально сконструированную классификационную шкалу.

Но сделать это планируется уже в последующих работах.

10. Заключение

В результате проделанной работы, с помощью системы «Эйдос» были измерены спектры графических изображений пораженных сетчатой пятнистостью листьев озимого ячменя сорта Павел (т.е. очень точно определены цвета, при-

сутствующие в изображении); Сформированы обобщенные спектры классов. Были сравнены конкретные объекты с классами по их спектрам. При этом было рассчитано суммарное количество информации в цветах спектра конкретного объекта о его принадлежности к обобщенному образу класса.

Установка системы «Эйдос» с разработанным и описанным в данной статье приложением на планшет, оснащенный фотокамерой, превращает его в мобильную информационно-измерительную систему, которую можно использовать в полевых условиях для автоматизированного определения степени поражения озимого ячменя пятнистостью. Использование этой системы не трудоемко и она обеспечивает высокую точность, объективность и сопоставимость фитопатологических измерений.

Таким образом, поставленные задачи решены, цель достигнута, проблема решена.

Литература

1. Афанасенко, О. С. Методические указания по диагностике и методам полевой оценки устойчивости ячменя к возбудителям пятнистостей листьев / О. С. Афанасенко; РАСХН, ВИЗР. - Л. - Пушкин, 1987. - 20с.
2. Афанасенко, О. С. Диагностика гельминтоспориозных пятнистостей листьев ячменя О.С. Афанасенко Агро XXI. -1997. - №3. - С. 10-11.
3. Афанасенко, О. С. Устойчивость районированных и перспективных для районирования сортов ячменя и пшеницы к листовым болезням на Государственных сортоучастках (ГСУ) в Северо-Западном регионе РФ / О.С. Афанасенко [и др.] // Технология создания и использования сортов и гибридов с групповой и комплексной устойчивостью к вредным организмам в защите растений. - СПб., 2010. - С. 199-211.
4. Бабаянц, Л. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах членах СЭВ [Текст] / Л. Бабаянц, А. Мештерхази, Ф. Вехтер, Н. Неклеса и др. Прага, 1988 – с. 270-277.
5. Дмитриев Н.Н. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии / Хуснидинов Ш.К. // В е с т н и к К р а с Г А У. 2 016. №7
6. Дьяков Ю. Т. Новое в систематике и номенклатуре грибов. [Текст] / Под ред. Ю. Т. Дьякова, Ю. В. Сергеева. М.: «Национальная академия микологии»; «Медицина для всех», 2003- 496 с.
7. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы): Монография в 2 т. А.А. Жученко. – Т.2 /– М.: Изд-во РУНД, 2001. – 780 с..
8. Ишкова, Т. И. Болезни зерновых и крупяных культур / Т.И. Ишкова, А.Е. Чумаков // Болезни культурных растений. - СПб., 2005. - С. 21-38.
9. Кашемирова Л.А. Фитосанитарные диагностические системы защиты ярового ячменя от темно-бурого и сетчатого "гельминтоспориозов". [Текст]: Автореф. канд. дис. Большие Вяземы, 1995. 33 с.
10. Кушниренко, И. Ю. Сетчатая пятнистость ячменя на Южном Урале и исходный материал для создания болезнеустойчивых сортов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Кушниренко И.Ю. - Л., 1987. - 19с.
11. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических сис-

тем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. – 605 с.
<http://elibrary.ru/item.asp?id=18632909>

12. Луценко Е.В. Метризация измерительных шкал различных типов и совместная сопоставимая количественная обработка разнородных факторов в системно-когнитивном анализе и системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №08(092). С. 859 – 883. – IDA [article ID]: 0921308058. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/58.pdf>, 1,562 у.п.л.

13. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ изображений по их пикселям (обобщение, абстрагирование, классификация и идентификация) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №07(111). С. 334 – 362. – IDA [article ID]: 1111507019. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/07/pdf/19.pdf>, 1,812 у.п.л.

14. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ изображений по их внешним контурам (обобщение, абстрагирование, классификация и идентификация) / Е.В. Луценко, Д.К. Бандык // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №06(110). С. 138 – 167. – IDA [article ID]: 1101506009. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/09.pdf>, 1,875 у.п.л.

15. Луценко Е.В. Синтез адаптивных интеллектуальных измерительных систем с применением АСК-анализа и системы «Эйдос» и системная идентификация в эконометрике, биометрии, экологии, педагогике, психологии и медицине / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №02(116). С. 1 – 60. – IDA [article ID]: 1161602001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/01.pdf>, 3,75 у.п.л.

16. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный спектральный анализ конкретных и обобщенных изображений в системе "Эйдос" (применение теории информации и когнитивных технологий в спектральном анализе) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №04(128). С. 1 – 64. – IDA [article ID]: 1281704001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/04/pdf/01.pdf>, 4 у.п.л.

17. Саладунова, О. А. Прогноз фитосанитарного состояния с.-х. культур в Московской области на 2011 год / О.А. Саладунова [и др.]; ФГУ Россельхозцентр по Моск. обл. - Москва, 2011. - 87с.

18. Хасанов Б.А. Несовершенные грибы как возбудители основных заболеваний злаков в Средней Азии и Казахстане. [Текст]: Автореф. докт. дисс. М., 1992. 44 с

19. Шевцов, В.М. Селекция и агротехника озимого ячменя на Кубани, Краснодар, 2008. – 137с

20. Fetch, T. G. Jr. Rating scales for assessing infection responses of barley infected with *Cochliobolus sativus* / T.G.Jr. Fetch, B.J. Steffenson // Plant Dis. - 1999. - Vol. 83. - P. 213-217.

21. Jayasena, K.W. Yield reduction in barley in relation to spot-type net blotch / K.W. Jayasena [e.a.] // Australasian Plant Pathol. - 2007. - Vol. 36. - P. 429-433.

22. Khan, T. N. Effect of spot-type net blotch (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoem) infection on barley yield in short season environment of northern cereal belt of Western Australia / T.N. Khan // Austr. J. Agric. Res. - 1989. - Vol. 40. - P. 745-752.

23. Murray, G. M. Estimating disease losses to the Australian barley industry / G.M. Murray, J.P. Brennan // Australasian Plant Pathol. - 2009. - Vol. 39, N 1. - P. 85-96.

24. Smedegård-Petersen, V. Isolation of two toxins produced by *Pyrenophora teres* and their significance in disease development of 164 net-spot blotch of barley / V. Smedegård-Petersen // *Physiol. Plant Pathol.* - 1977. - Vol. 10. - P. 203-208.

25. Tekauz, A. Re-emergence of spotted net blotch in Manitoba. / Desjardins, M. // *Can. J. Plant Pathol.* 2011, 33:293.

26. www3.syngenta.com

27. Луценко Е.В. Решение задач ампелографии с применением АСК-анализа изображений листьев по их внешним контурам (обобщение, абстрагирование, классификация и идентификация) / Е.В. Луценко, Д.К. Бандык, Л.П. Трошин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №08(112). С. 862 – 910. – IDA [article ID]: 1121508064. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/64.pdf>, 3,062 у.п.л.

28. Луценко Е.В. Инвариантное относительно объемов данных нечеткое мультиклассовое обобщение F-меры достоверности моделей Ван Ризбергера в АСК-анализе и системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №02(126). С. 1 – 32. – IDA [article ID]: 1261702001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/01.pdf>, 2 у.п.л.

29. Луценко Е.В. Системная теория информации и нелокальные интерпретируемые нейронные сети прямого счета / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2003. – №01(001). С. 79 – 91. – IDA [article ID]: 0010301011. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2003/01/pdf/11.pdf>, 0,812 у.п.л.

30. Луценко Е.В. Количественный автоматизированный SWOT- и PEST-анализ средствами АСК-анализа и интеллектуальной системы «Эйдос-Х++» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). С. 1367 – 1409. – IDA [article ID]: 1011407090. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/90.pdf>, 2,688 у.п.л.

31. Луценко Е.В. Универсальная автоматизированная система распознавания образов "Эйдос" (версия 4.1).-Краснодар: КЮИ МВД РФ, 1995.-76с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18630282>

32. Луценко Е.В. Теоретические основы и технология адаптивного семантического анализа в поддержке принятия решений (на примере универсальной автоматизированной системы распознавания образов "ЭЙДОС-5.1"). - Краснодар: КЮИ МВД РФ, 1996. - 280с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21745340>

33. Симанков В.С., Луценко Е.В. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов. Монография (научное издание). – Краснодар: ТУ КубГТУ, 1999. - 318с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18828433>

34. Симанков В.С., Луценко Е.В., Лаптев В.Н. Системный анализ в адаптивном управлении: Монография (научное издание). /Под науч. ред. В.С.Симанкова. – Краснодар: ИСТЭК КубГТУ, 2001. – 258с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21747625>

35. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. – 605 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632909>

36. Луценко Е.В. Интеллектуальные информационные системы: Учебное пособие для студентов специальности 351400 "Прикладная информатика (по отраслям)". – Краснодар: КубГАУ. 2004. – 633 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632737>

37. Луценко Е.В., Лойко В.И., Семантические информационные модели управления агропромышленным комплексом. Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2005. – 480 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21720635>

38. Луценко Е.В. Интеллектуальные информационные системы: Учебное пособие для студентов специальности "Прикладная информатика (по областям)" и другим экономическим специальностям. 2-е изд., перераб. и доп.– Краснодар: КубГАУ, 2006. – 615 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632602>

39. Луценко Е.В. Лабораторный практикум по интеллектуальным информационным системам: Учебное пособие для студентов специальности "Прикладная информатика (по областям)" и другим экономическим специальностям. 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 318с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683721>

40. Луценко Е. В., Лойко В.И., Великанова Л.О. Прогнозирование и принятие решений в растениеводстве с применением технологий искусственного интеллекта: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 257 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683725>

41. Луценко Е.В., Коржаков В.Е., Лаптев В.Н. Теоретические основы и технология применения системно-когнитивного анализа в автоматизированных системах обработки информации и управления (АСОИУ) (на примере АСУ вузом): Под науч. ред.д.э.н., проф. Е.В.Луценко. Монография (научное издание). – Майкоп: АГУ. 2009. – 536 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18633313>

42. Луценко Е.В., Коржаков В.Е., Ермоленко В.В. Интеллектуальные системы в контроллинге и менеджменте средних и малых фирм: Под науч. ред. д.э.н., проф. Е.В.Луценко. Монография (научное издание). – Майкоп: АГУ. 2011. – 392 с. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683734>

43. Трубилин А.И., Барановская Т.П., Лойко В.И., Луценко Е.В. Модели и методы управления экономикой АПК региона. Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2012. – 528 с. ISBN 978-5-94672-584-2. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683702>

44. Горпинченко К.Н., Луценко Е.В. Прогнозирование и принятие решений по выбору агротехнологий в зерновом производстве с применением методов искусственного интеллекта (на примере СК-анализа). Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2013. – 168 с. ISBN 978-5-94672-644-3. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20213254>

45. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика. Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с. ISBN 978-5-94672-757-0. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21358220>

46. Луценко Е.В. Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос». Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с. ISBN 978-5-94672-830-0. <http://elibrary.ru/item.asp?id=22401787>

47. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Перспективные математические и инструментальные методы контроллинга. Под научной ред. проф.С.Г.Фалько. Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2015. – 600 с. ISBN 978-5-94672-923-9. <http://elibrary.ru/item.asp?id=23209923>

48. Орлов А.И., Луценко Е.В., Лойко В.И. Организационно-экономическое, математическое и программное обеспечение контроллинга, инноваций и менеджмента: монография / А. И. Орлов, Е. В. Луценко, В. И. Лойко ; под общ. ред. С. Г. Фалько. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 600 с. ISBN 978-5-00097-154-3. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26667522>

49. Луценко Е.В. АСК-анализ как метод выявления когнитивных функциональных зависимостей в многомерных зашумленных фрагментированных данных / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного

университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – №03(011). С. 181 – 199. – IDA [article ID]: 0110503019. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2005/03/pdf/19.pdf>, 1,188 у.п.л.

50. Луценко Е.В. Когнитивные функции как адекватный инструмент для формального представления причинно-следственных зависимостей / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №09(063). С. 1 – 23. – Шифр Информрегистра: 0421000012\0233, IDA [article ID]: 0631009001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/09/pdf/01.pdf>, 1,438 у.п.л.

51. Луценко Е.В. Когнитивные функции как обобщение классического понятия функциональной зависимости на основе теории информации в системной нечеткой интервальной математике / Е.В. Луценко, А.И. Орлов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №01(095). С. 122 – 183. – IDA [article ID]: 0951401007. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/07.pdf>, 3,875 у.п.л.

52. Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство С 29 в России. 2015: Стат.сб./Росстат - М., 2015. – 201 с.

Literatura

1. Afanasenko, O. S. Metodicheskie ukazaniya po diagnostike i metodam polevoj ocenki ustojchivosti jachmenja k vozbuditeljam pjatnistostej list'ev / O. S. Afanasenko; RASHN, VIZR. - L. - Pushkin, 1987. - 20s.

2. Afanasenko, O. S. Diagnostika gel'mintosporioznych pjatnistostej list'ev jachmenja O.S. Afanasenko Agro XXI. -1997. - №3. - S. 10-11.

3. Afanasenko, O. S. Ustojchivost' rajonirovannyh i perspektivnyh dlja rajonirovaniya sortov jachmenja i pshenicy k listovym boleznyam na Gosudarstvennyh sortouchastkah (GSU) v Severo-Zapadnom regione RF / O.S. Afanasenko [i dr.] // Tehnologija sozdaniya i ispol'zovaniya sortov i gibridov s gruppovoj i kompleksnoj ustojchivost'ju k vrednym organizmam v zashhite rastenij. - SPb., 2010. - S. 199-211.

4. Babajanc, L. Metody selekcii i ocenki ustojchivosti pshenicy i jachmenja k boleznyam v stranah chlenah SJeV [Tekst] / L. Babajanc, A. Meshterhazi, F. Vehter, N. Neklesa i dr. Praga, 1988 – s. 270-277.

5. Dmitriev N.N. Metodika uskorenogo opredelenija ploshhadi listovoj poverhnosti sel'skohozjajstvennyh kul'tur s pomoshh'ju komp'juternoj tehnologii / Husnidinov Sh.K. // V e s t n i k K r a s G A U. 2 016. №7

6. D'jakov Ju. T. Novoe v sistematike i nomenklature gribov. [Tekst] / Pod red. Ju. T. D'jakova, Ju. V. Sergeeva. M.: «Nacional'naja akademija mikologii»; «Medicina dlja vseh», 2003-496 s.

7. Zhuchenko A.A. Adaptivnaja sistema selekcii rastenij (jekologo-geneticheskie osnovy): Monografija v 2 t. A.A. Zhuchenko. – T.2 /– M.: Izd-vo RUND, 2001. – 780 s..

8. Ishkova, T. I. Bolezni zernovyh i krupjanyh kul'tur / T.I. Ishkova, A.E. Chumakov // Bolezni kul'turnyh rastenij. - SPb., 2005. - S. 21-38.

9. Kashemirova L.A. Fitosanitarnye diagnosticheskie sistemy zashhity jarovogo jachmenja ot temno-burogo i setchatogo "gel'mintosporiozov". [Tekst]: Avtoref. kand. dis. Bol'shie Vjazemy, 1995. 33 s.

10. Kushnirenko, I. Ju. Setchataja pjatnistost' jachmenja na Juzhnom Urale i ishodnyj material dlja sozdaniya bolezneustojchivyh sortov: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / Kushnirenko I.Ju. - L., 1987. - 19s.

11. Lucenko E.V. Avtomatizirovannyj sistemno-kognitivnyj analiz v upravlenii aktivnymi ob#ektami (sistemnaja teorija informacii i ee primenenie v issledovanii jekonomicheskikh, social'no-

psihologicheskikh, tehnologicheskikh i organizacionno-tehnicheskikh sistem): Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU. 2002. - 605 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632909>

12. Lucenko E.V. Metrizacija izmeritel'nyh shkal razlichnyh tipov i sovmestnaja sopostavimaja kolichestvennaja obrabotka raznorodnyh faktorov v sistemno-kognitivnom analize i sisteme «Jejdos» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №08(092). S. 859 – 883. – IDA [article ID]: 0921308058. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/58.pdf>, 1,562 u.p.l.

13. Lucenko E.V. Avtomatizirovannyj sistemno-kognitivnyj analiz izobrazhenij po ih pikseljam (obobshhenie, abstragirovanie, klassifikacija i identifikacija) / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – №07(111). S. 334 – 362. – IDA [article ID]: 1111507019. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/07/pdf/19.pdf>, 1,812 u.p.l.

14. Lucenko E.V. Avtomatizirovannyj sistemno-kognitivnyj analiz izobrazhenij po ih vneshnim konturam (obobshhenie, abstragirovanie, klassifikacija i identifikacija) / E.V. Lucenko, D.K. Bandyk // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – №06(110). S. 138 – 167. – IDA [article ID]: 1101506009. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/09.pdf>, 1,875 u.p.l.

15. Lucenko E.V. Sintez adaptivnyh intellektual'nyh izmeritel'nyh sistem s primeneniem ASK-analiza i sistemy «Jejdos» i sistemnaja identifikacija v jekometrike, biometrii, jekologii, pedagogike, psihologii i medicine / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №02(116). S. 1 – 60. – IDA [article ID]: 1161602001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/01.pdf>, 3,75 u.p.l.

16. Lucenko E.V. Avtomatizirovannyj sistemno-kognitivnyj spektral'nyj analiz konkretnyh i obobshhennyh izobrazhenij v sisteme "Jejdos" (primenenie teorii informacii i kognitivnyh tehnologij v spektral'nom analize) / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №04(128). S. 1 – 64. – IDA [article ID]: 1281704001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/04/pdf/01.pdf>, 4 u.p.l.

17. Saladunova, O. A. Prognoz fitosanitarnogo sostojanija s.-h. kul'tur v Moskovskoj oblasti na 2011 god / O.A. Saladunova [i dr.]; FGU Rossel'hozcentr po Mosk. obl. - Moskva, 2011. - 87s.

18. Hasanov B.A. Nesovershennye griby kak vozбудiteli osnovnyh zabolovanij zlakov v Srednej Azii i Kazahstane. [Tekst]: Avtoref. dokt. diss. M., 1992. 44 s

19. Shevcov, V.M. Selekcija i agrotehnika ozimogo jachmenja na Kubani, Krasnodar, 2008. – 137s

20. Fetch, T. G. Jr. Rating scales for assessing infection responses of barley infected with *Cochliobolus sativus* / T.G.Jr. Fetch, B.J. Steffenson // Plant Dis. - 1999. - Vol. 83. - P. 213-217.

21. Jayasena, K.W. Yield reduction in barley in relation to spot-type net blotch / K.W. Jayasena [e.a.] // Australasian Plant Pathol. - 2007. - Vol. 36. - P. 429-433.

22. Khan, T. N. Effect of spot-type net blotch (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoem) infection on barley yield in short season environment of northern cereal belt of Western Australia / T.N. Khan // Austr. J. Agric. Res. - 1989. - Vol. 40. - P. 745-752.

23. Murray, G. M. Estimating disease losses to the Australian barley industry / G.M. Murray, J.P. Brennan // Australasian Plant Pathol. - 2009. - Vol. 39, N 1. - P. 85-96.

24. Smedegård-Petersen, V. Isolation of two toxins produced by *Pyrenophora teres* and their significance in disease development of 164 net-spot blotch of barley / V. Smedegård-Petersen // Physiol. Plant Pathol. - 1977. - Vol. 10. - P. 203-208.

25. Tekauz, A. Re-emergence of spotted net blotch in Manitoba. / Desjardins, M. // Can. J. Plant Pathol. 2011, 33:293.

26. www3.syngenta.com

27. Lucenko E.V. Reshenie zadach ampelografii s primeneniem ASK-analiza izobrazhenij list'ev po ih vneshnim konturam (obobshhenie, abstragirovanie, klassifikacija i identifikacija) / E.V. Lucenko, D.K. Bandyk, L.P. Troshin // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – №08(112). S. 862 – 910. – IDA [article ID]: 1121508064. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/64.pdf>, 3,062 u.p.l.

28. Lucenko E.V. Invariantnoe otноситel'no ob#emov dannyh nechetkoe mul'tiklassovoe obobshhenie F-mery dostovernosti modelej Van Rizbergena v ASK-analize i sisteme «Jejdos» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №02(126). S. 1 – 32. – IDA [article ID]: 1261702001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/01.pdf>, 2 u.p.l.

29. Lucenko E.V. Sistemnaja teorija informacii i nelokal'nye interpretiruemye nejronnye seti prjamogo scheta / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2003. – №01(001). S. 79 – 91. – IDA [article ID]: 0010301011. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2003/01/pdf/11.pdf>, 0,812 u.p.l.

30. Lucenko E.V. Kolichestvennyj avtomatizirovannyj SWOT- i PEST-analiz sredstvami ASK-analiza i intellektual'noj sistemy «Jejdos-H++» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №07(101). S. 1367 – 1409. – IDA [article ID]: 1011407090. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/90.pdf>, 2,688 u.p.l.

31. Lucenko E.V. Universal'naja avtomatizirovannaja sistema raspoznavanija obrazov "Jejdos" (versija 4.1).-Krasnodar: KJuI MVD RF, 1995.- 76s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18630282>

32. Lucenko E.V. Teoreticheskie osnovy i tehnologija adaptivnogo semanticheskogo analiza v podderzhke prinjatija reshenij (na primere universal'noj avtomatizirovannoj sistemy raspoznavanija obrazov "JeJDOS-5.1"). - Krasnodar: KJuI MVD RF, 1996. - 280s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21745340>

33. Simankov V.S., Lucenko E.V. Adaptivnoe upravlenie slozhnymi sistemami na osnove teorii raspoznavanija obrazov. Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: TU KubGTU, 1999. - 318s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18828433>

34. Simankov V.S., Lucenko E.V., Laptev V.N. Sistemnyj analiz v adaptivnom upravlenii: Monografija (nauchnoe izdanie). /Pod nauch. red. V.S.Simankova. – Krasnodar: ISTJeK KubGTU, 2001. – 258s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21747625>

35. Lucenko E.V. Avtomatizirovannyj sistemno-kognitivnyj analiz v upravlenii aktivnymi ob#ektami (sistemnaja teorija informacii i ee primenenie v issledovanii jekonomicheskikh, social'no-psihologicheskikh, tehnologicheskikh i organizacionno-tehnicheskikh sistem): Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU. 2002. – 605 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632909>

36. Lucenko E.V. Intellektual'nye informacionnye sistemy: Uchebnoe posobie dlja studentov special'nosti 351400 "Prikladnaja informatika (po otrasljam)". – Krasnodar: KubGAU. 2004. – 633 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632737>

37. Lucenko E.V., Lojko V.I., Semanticheskie informacionnye modeli upravlenija agropromyshlennym kompleksom. Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU. 2005. – 480 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21720635>

38. Lucenko E.V. Intellekтуал'nye informacionnye sistemy: Uchebnoe posobie dlja studentov special'nosti "Prikladnaja informatika (po oblastjam)" i drugim jekonomicheskim special'nostjam. 2-e izd., pererab. i dop.– Krasnodar: KubGAU, 2006. – 615 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632602>

39. Lucenko E.V. Laboratornyj praktikum po intellektual'nym informacionnym sistemam: Uchebnoe posobie dlja studentov special'nosti "Prikladnaja informatika (po oblastjam)" i drugim jekonomicheskim special'nostjam. 2-e izd., pererab. i dop. – Krasnodar: KubGAU, 2006. – 318s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683721>

40. Lucenko E. V., Lojko V.I., Velikanova L.O. Prognozirovanie i prinjatие reshenij v rastenievodstve s primeneniem tehnologij iskusstvennogo intellekta: Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU, 2008. – 257 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683725>

41. Lucenko E.V., Korzhakov V.E., Laptev V.N. Teoreticheskie osnovy i tehnologija primeneniya sistemno-kognitivnogo analiza v avtomatizirovannyh sistemah obrabotki informacii i upravlenija (ASOIU) (na primere ASU vuzom): Pod nauch. red.d.je.n., prof. E.V.Lucenko. Monografija (nauchnoe izdanie). – Majkop: AGU. 2009. – 536 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18633313>

42. Lucenko E.V., Korzhakov V.E., Ermolenko V.V. Intellekтуал'nye sistemy v kontrolinge i menedzhmente srednih i malyh firm: Pod nauch. red. d.je.n., prof. E.V.Lucenko. Monografija (nauchnoe izdanie). – Majkop: AGU. 2011. – 392 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683734>

43. Trubilin A.I., Baranovskaja T.P., Lojko V.I., Lucenko E.V. Modeli i metody upravlenija jekonomikoj APK regiona. Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU. 2012. – 528 s. ISBN 978-5-94672-584-2. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21683702>

44. Gorpinchenko K.N., Lucenko E.V. Prognozirovanie i prinjatие reshenij po vyboru agrotehnologij v zernovom proizvodstve s primeneniem metodov iskusstvennogo intellekta (na primere SK-analiza). Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar, KubGAU. 2013. – 168 s. ISBN 978-5-94672-644-3. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20213254>

45. Orlov A.I., Lucenko E.V. Sistemnaja nechetkaja interval'naja matematika. Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar, KubGAU. 2014. – 600 s. ISBN 978-5-94672-757-0. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21358220>

46. Lucenko E.V. Universal'naja kognitivnaja analiticheskaja sistema «Jejdos». Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar, KubGAU. 2014. – 600 s. ISBN 978-5-94672-830-0. <http://elibrary.ru/item.asp?id=22401787>

47. Orlov A.I., Lucenko E.V., Lojko V.I. Perspektivnye matematicheskie i instrumental'nye metody kontrolinga. Pod nauchnoj red. prof.S.G.Fal'ko. Monografija (nauchnoe izdanie). – Krasnodar, KubGAU. 2015. – 600 s. ISBN 978-5-94672-923-9. <http://elibrary.ru/item.asp?id=23209923>

48. Orlov A.I., Lucenko E.V., Lojko V.I. Organizacionno-jekonomicheskoe, matematicheskoe i programmnoe obespechenie kontrolinga, innovacij i menedzhmenta: monografija / A. I. Orlov, E. V. Lucenko, V. I. Lojko ; pod obshh. red. S. G. Fal'ko. – Krasnodar : KubGAU, 2016. – 600 s. ISBN 978-5-00097-154-3. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26667522>

49. Lucenko E.V. ASK-analiz kak metod vyjavenija kognitivnyh funkcional'nyh zavisimostej v mnogomernyh zashumlennyh fragmentirovannyh dannyh / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2005. – №03(011). S. 181 – 199. – IDA [article ID]: 0110503019. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2005/03/pdf/19.pdf>, 1,188 u.p.l.

50. Lucenko E.V. Kognitivnye funkcii kak adekvatnyj instrument dlja formal'nogo predstavlenija prichinno-sledstvennyh zavisimostej / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2010. – №09(063). S. 1 – 23. –

Shifr Informregistra: 0421000012\0233, IDA [article ID]: 0631009001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2010/09/pdf/01.pdf>, 1,438 u.p.l.

51. Lucenko E.V. Kognitivnye funkicii kak obobshhenie klassicheskogo ponjatija funkcional'noj zavisimosti na osnove teorii informacii v sistemnoj nechetkoj interval'noj matematike / E.V. Lucenko, A.I. Orlov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №01(095). S. 122 – 183. – IDA [article ID]: 0951401007. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/07.pdf>, 3,875 u.p.l.

52. Sel'skoe hozjajstvo, ohota i ohotnich'e hozjajstvo, lesovodstvo S 29 v Rossii. 2015: Stat.sb./Rosstat - M., 2015. – 201 c.