

УДК 632.4:634.25

UDC 632.4:634.25

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agricultural sciences

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗВИТИЯ КУРЧАВОСТИ ЛИСТЬЕВ ПЕРСИКА ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ВО ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКАХ РОССИИ (С ПРИМЕНЕНИЕМ АСК-АНАЛИЗА)**

**DEPENDENCE OF PEACH LEAF CURL DEVELOPMENT ON WEATHER CONDITIONS IN RUSSIAN HUMID SUBTROPICS (APPLYING ASK-ANALYSIS)**

Карпун Наталья Николаевна  
к.б.н., доцент, заместитель директора  
SPIN-код: 7293-8389  
nkolem@mail.ru

Karpun Natalia Nikolaevna  
Cand. Biol. Sci., Docent, deputy director  
SPIN-code: 7293-8389  
nkolem@mail.ru

Леонов Николай Николаевич  
к.с.-х.н., зав. отделом защиты растений  
SPIN-код: 6854-6809  
ozr@vniisubtrop.ru  
*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур», Сочи, Россия*

Leonov Nikolay Nikolaevich  
Cand. Agric. Sci., head of department of plant protection, SPIN- code: 6854-6809  
ozr@vniisubtrop.ru  
*Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops», Sochi, Russia*

Луценко Евгений Вениаминович  
д.э.н., к.т.н., профессор  
Scopus Author ID: 57191193316  
SPIN-код: 9523-7101  
prof.lutsenko@gmail.com  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия*

Lutsenko Eugeny Veniaminovich  
Dr.Sci.Econ., Cand.Tech.Sci., professor  
Scopus Author ID: 57191193316  
SPIN-code: 9523-7101  
prof.lutsenko@gmail.com  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В садах персика во влажных субтропиках России наиболее опасной и вредоносной болезнью является курчавость листьев. В связи с высокой степенью опасности курчавости листьев персика, нами впервые для региона была поставлена задача проанализировать зависимость развития курчавости листьев персика от погодных условий. Для решения поставленной задачи предлагается применить новую инновационную интеллектуальную технологию: автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) и его программный инструментарий – систему «Эйдос». Для построения модели, основываясь на собственных наблюдениях и опыте российских и зарубежных коллег, было решено использовать следующие факторы: сумма температур выше +4 °С текущего года (за период с января по апрель), сумма температур выше +4 °С предыдущего года (за весь год), сумма осадков текущего года (за период с января по апрель), сумма осадков предыдущего года (за весь год), количество часов инфицирования (в текущем году). Установлено, наибольшую значимость в динамике развития и распространения курчавости листьев персика имеют такие факторы как количество часов инфицирования, сумма температур выше +4 °С в апреле и в период с января по апрель, а также сумма осадков в марте и в апреле. Высокие показатели распространения и развития курчавости

In peach orchards of the Russian humid subtropics, leaf curl is the most dangerous and harmful disease. Due to the high degree of danger from the peach leaf curl, for the first time in this region the main task was to analyze peach leaf curl development on weather conditions. In order to solve the problem, it is proposed to apply a new innovative intellectual technology: automated system-cognitive analysis (ASK-analysis) and its software tools - the “Eidos” system. In order to build the model, based on our own observations and the experience of Russian and foreign colleagues, it was decided to use the following factors: the sum of temperatures above +4 °C of the current year (for the period from January to April), the sum of temperatures above +4 °C of the previous year (for the whole year), the sum of precipitation of the current year (for the period from January to April), the sum of precipitation of the previous year (for the whole year), the number of hours of infection (in the current year). It was established that such factors as the number of hours of infection, the sum of temperatures above +4 °C in April and during the period from January to April, as well as the sum of precipitation in March and April, are the most important in the dynamics of peach leaf curl development and spread. High rates of leaf curl spread and development are caused by the number of hours of infection in the range of 1440 ... 2064 hours, as well as by low air temperatures in March and April (the

обуславливаются количеством часов инфицирования в диапазоне 1440...2064 час., низкими температурами воздуха в марте и апреле (сумма температур выше +4 °С – 89,4-240,4° и 283,7-316,7°, соответственно) и высокими – в январе и феврале (сумма температур выше +4 °С – 155,3-259,6° и 243,5-280,1°, соответственно)

sum of temperatures above +4 °С – 89,4-240,4° and 283,7-316,7°, respectively) and high air temperatures - in January and February (the sum of temperatures above +4 °С – 155,3-259,6° and 243,5-280,1°, respectively)

Ключевые слова: КУРЧАВОСТЬ ЛИСТЬЕВ ПЕРСИКА, ВЛАЖНЫЕ СУБТРОПИКИ, ПРОГНОЗ, АСК-АНАЛИЗ, СИСТЕМНО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ

Keywords: PEACH LEAF CURL, HUMID SUB-TROPICS, FORECAST, ASC-ANALYSIS, AUTOMATED SYSTEM-COGNITIVE ANALYSIS

Doi: 10.21515/1990-4665-131-050

Во влажных субтропиках России культура персика является наиболее важной для промышленного возделывания, отличаясь довольно высокой рентабельностью. В садах персика в регионе отмечено развитие 20 видов возбудителей болезней [3, 6], но наиболее опасной и вредоносной болезнью является курчавость листьев [8]. Вредоносность болезни отмечалась исследователями еще с начала XX века [1, 2], а в последние годы интенсивность развития болезни достигает 80-100%, поэтому его возделывание невозможно без проведения защитных мероприятий [8].

Одной из немаловажных задач в защите растений является анализ развития болезней для прогнозирования их вредоносности и принятия своевременного решения о проведении защитных мероприятий. Прогноз основывается на изучении связи развития и распространения болезней с факторами окружающей среды [20], в том числе с метеорологическими факторами текущего (для краткосрочного прогноза) и предшествующего года (для долгосрочного прогноза).

Вопросам связи развития возбудителя курчавости листьев персика с погодными условиями посвящены работы в различных регионах: в условиях предгорной зоны Краснодарского края – И.Л. Ковтун [7], Молдавии – Р.Б. Малина и Г.В. Шишкану [18], Греции – Т. Thomidis с коллегами [23], Италии – S. Giosuè с коллегами [21], V.Rossi с коллегами [22]. При этом все исследователи рассматривают температуру воздуха и осадки как ос-

новые факторы, влияющие на развитие болезни. В ряде случаев дополнительным критерием при построении прогноза является влажность воздуха и продолжительность периода инфицирования.

До настоящих исследований установлено, что в развитии курчавости листьев во влажных субтропиках России определяющими факторами являются температура воздуха и распределение осадков в начальный период вегетации. При понижении температуры ниже  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и повышении ее выше  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  интенсивность заражения листьев резко снижается [9].

В связи с высокой степенью опасности курчавости листьев персика нами впервые для региона была поставлена задача проанализировать зависимость развития курчавости листьев персика от погодных условий во влажных субтропиках России.

В качестве исходных данных нами были использованы собственные данные о развитии и распространении курчавости листьев персика (максимальные значения по годам исследования) в зоне влажных субтропиков России (г. Сочи, опытные насаждения ФГБНУ ВНИИЦиСК, персик сорт Редхавен) за период с 2005 по 2016 гг.

В качестве метода решения задачи предлагается применить новую инновационную интеллектуальную технологию: автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) и его программный инструментарий – систему «Эйдос» [10, 11, 12, 14].

АСК-анализ имеет ряд особенностей, которые обусловили его выбор [16]:

1. Имеет теоретическое обоснование, основой которого является семантическая мера целесообразности информации А. Харкевича.

2. Обеспечивает корректную сопоставимую количественную обработку разнородных по своей природе взаимосвязанных факторов, измеряемых в различных единицах измерения, высокую точность и независимость результатов расчетов от единиц измерения исходных данных.

3. Обеспечивает построение многомерных моделей объекта моделирования непосредственно на основе неполных (фрагментированных) и зашумленных (искаженных) эмпирических данных о нем.

4. Имеет развитую и доступную программную реализацию в виде универсальной когнитивной аналитической системы «Эйдос» (открытое программное обеспечение: [http://lc.kubagro.ru/aidos/\\_Aidos-X.htm](http://lc.kubagro.ru/aidos/_Aidos-X.htm)) [16].

Для построения модели, основываясь на собственных наблюдениях и опыте российских и зарубежных коллег, было решено использовать следующие факторы: сумма температур выше +4 °С текущего года (за период с января по апрель), сумма температур выше +4 °С предыдущего года (за весь год), сумма осадков текущего года (за период с января по апрель), сумма осадков предыдущего года (за весь год), количество часов инфицирования (в текущем году) (табл. 1). Показатели рассчитаны на основании метеоданных (за период с 1999 по 2016 гг.), предоставленных Сочинской АМС.

Поскольку исходные данные приведены в различных единицах измерения, то они могут быть совместно сопоставимо обработаны в одной модели путем метризации шкал и представления всех данных в одних единицах измерения: единицах количества информации [13].

Далее в соответствии с этапами АСК-анализа нами выполнены когнитивная структуризация и формализация предметной области. В результате когнитивной структуризации было принято решение, что и на основе чего необходимо узнать. В данном случае стоит цель ответить на вопрос, существует ли зависимость и какова сила влияния гидротермических условий на интенсивность распространения и развития курчавости во влажных субтропиках России.

Таблица 1. Исходные данные для создания модели влияния гидротермических факторов на интенсивность распространения и развития курчавости листьев персика во влажных субтропиках России

Год	Максимум распространения курчавости	Максимум развития курчавости	Количество часов инфицирования	$\Sigma t > 4^\circ$ , январь	$\Sigma t > 4^\circ$ , февраль	$\Sigma t > 4^\circ$ , март	$\Sigma t > 4^\circ$ , апрель	$\Sigma t > 4^\circ$ , январь-апрель	Сумма осадков, январь	Сумма осадков, февраль	Сумма осадков, март	Сумма осадков, апрель	Сумма осадков с января по апрель	$\Sigma t > 4^\circ$ , пред. года	Сумма осадков предыдущего года
2005	78,0	71,0	1176,0	211,8	181,9	150,9	388,3	932,9	169,0	88,0	352,0	103,0	712,0	5209,1	1705,0
2006	85,0	75,0	1368,0	109,8	134,1	303,5	348,0	895,4	200,0	229,0	118,0	156,0	703,0	5194,2	1877,0
2007	100,0	90,0	1848,0	196,7	143,1	246,2	283,7	869,7	238,0	80,0	214,0	171,0	703,0	5127,7	1887,4
2008	87,0	78,0	1440,0	68,6	102,1	364,2	427,3	962,2	63,0	148,0	131,0	120,0	462,0	5362,6	1819,0
2009	100,0	93,0	2064,0	166,3	258,4	240,4	316,7	981,8	206,0	116,0	214,0	67,0	603,0	5221,3	1568,0
2010	91,0	83,0	1632,0	259,6	258,7	251,3	369,3	1138,9	197,0	170,0	169,0	126,0	662,0	5390,2	1714,0
2011	100,0	89,0	1800,0	219,1	90,7	227,4	307,6	844,8	119,0	202,0	161,0	167,0	649,0	6010,5	1554,0
2012	55,0	39,0	336,0	145,8	78,8	89,4	431,8	745,8	173,0	192,0	159,0	71,0	595,0	4854,8	1782,0
2013	66,0	60,0	960,0	195,3	263,2	280,9	406,7	1146,1	199,0	102,0	194,0	49,0	544,0	5430,2	1355,0
2014	75,0	63,0	1008,0	234,6	229,7	316,5	402,4	1183,2	177,0	28,0	134,0	73,0	412,0	5346,5	1820,0
2015	80,0	70,0	1076,0	202,5	243,5	298,4	305,1	1049,5	196,0	56,0	94,0	192,0	538,0	5738,5	1508,0
2016	75,0	65,0	1004,0	155,3	280,1	319,7	412,9	1168,0	281,0	93,0	82,0	105,0	561,0	5509,9	1582,0

В ходе формализации предметной области база исходных данных (табл. 1), была нормализована, т.е. были разработаны справочники классификационных и описательных шкал и градаций, с использованием которых в дальнейшем исходные данные кодируются и создается база событий (эвентологическая база данных) и обучающая выборка [16].

Для автоматической формализации предметной области в системе «Эйдос» выполнен режим 2.3.2.2 (рис. 1).

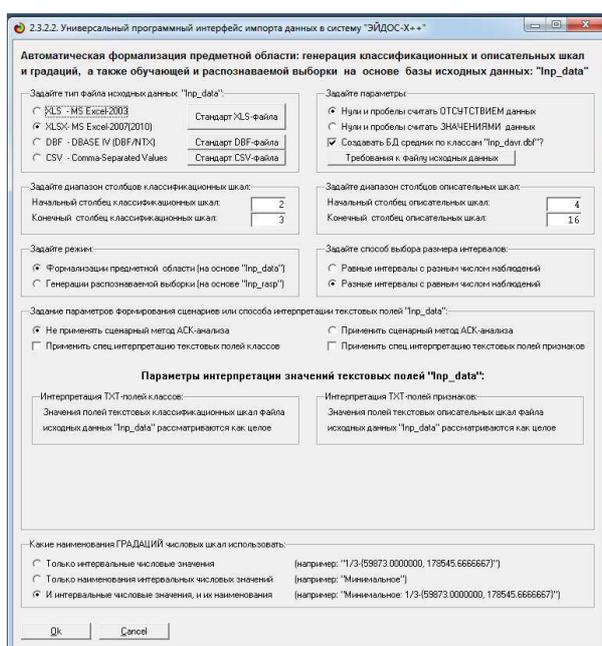


Рисунок 1. Экранная форма универсального программного интерфейса системы «Эйдос» с внешними базами данных

В нашем случае, поскольку в анализе используются данные за небольшой временной интервал (12 лет), было решено выбрать 3 градации для описательных шкал (рис. 2), чтобы все градации были представлены 4 измерениями.

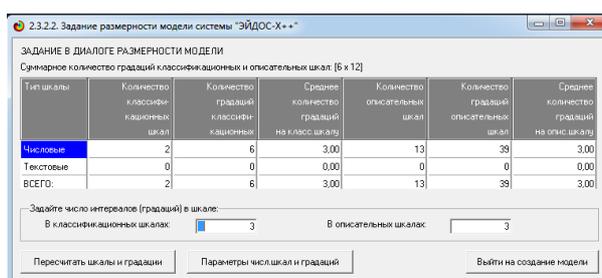


Рисунок 2. Экранная форма внутреннего калькулятора универсального программного интерфейса системы «Эйдос» с внешними базами данных

Далее были проведены формализация предметной области, синтез и верификация модели (параметры, при которых они были выполнены, приведены на рис. 3).

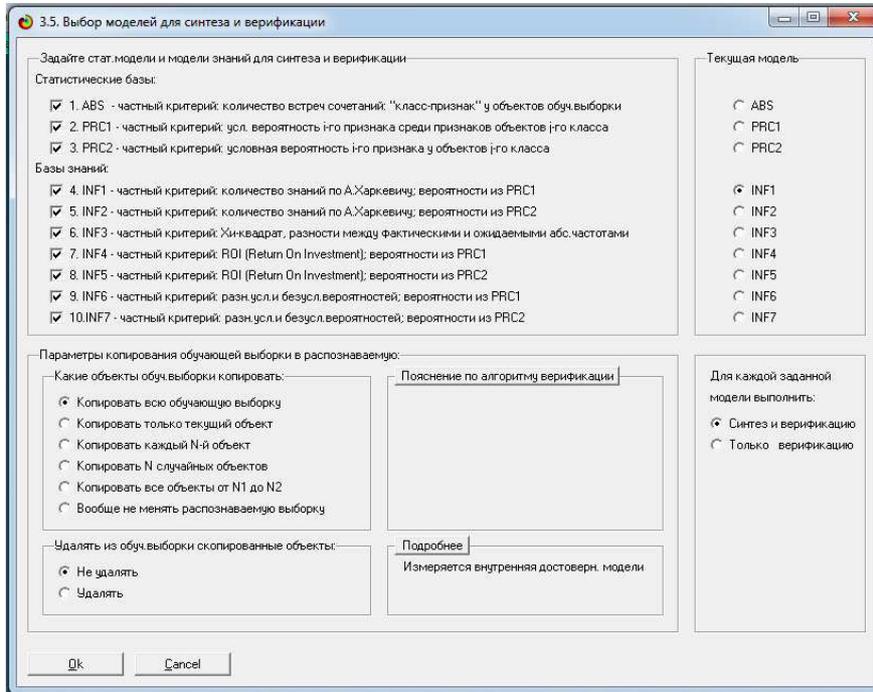


Рисунок 3. Экранная форма параметров синтеза и верификации модели

Из формы, представленной на рисунке 4, видно, что достоверность моделей знаний высока для данной предметной области (1,000).

Наименование модели и частного критерия	Интегральный критерий	Число план. признаков, решений (N)	Точность модели	Полнота модели	F-критерий Ван Рыбберга	Средн. мод. уровень схож. истинно-отриц. решений (SI)	Средн. мод. уровень схож. истинно-отриц. решений (ST)	Средн. мод. уровень схож. ложно-отриц. решений (SP)	Средн. мод. уровень схож. ложно-отриц. решений (SF)	S-Точность модели	S-Полнота модели	L1-норма граф. Е.В. Луценко	Средний мод. уровень схож. истинно-отриц. решений
1. ABS - частный критерий: количество встреч сочетаний: "класс-признак" у объектов обуч. выборки	Корреляция абс. частот с обр...		0.923	1.000	0.968	20.066	20.204	0.138	23.704	0.993	1.000	0.997	0.836
2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность i-го признака среди признаков объектов i-го класса	Средн. абс. частот по призна...		0.333	1.000	0.500	22.519	20.204	0.138	23.704	0.487	1.000	0.655	0.938
3. PRC2 - частный критерий: усл. вероятность i-го признака сред.	Корреляция усл.отриц. частот с о...		0.923	1.000	0.968	20.066	20.204	0.138	23.704	0.993	1.000	0.997	0.836
4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; вероятности из PRC1	Средн. знаний		0.522	1.000	0.686	18.831	6.510	3.327	17.002	0.586	1.000	0.919	0.785
5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; веро...	Семантический резонанс зна...		0.923	1.000	0.968	16.770	17.002	0.232	20.204	0.993	1.000	0.997	0.836
6. INF3 - частный критерий: Хи-квадрат; разности между факти...	Средн. знаний		0.522	1.000	0.686	18.831	6.510	3.327	17.002	0.586	1.000	0.919	0.785
7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятности из PRC1	Семантический резонанс зна...		0.923	1.000	0.968	20.066	20.204	0.138	23.704	0.993	1.000	0.997	0.836
8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятности из PRC2	Семантический резонанс зна...		0.500	1.000	1.000	19.307	18.207	4.650	19.307	1.000	1.000	1.000	0.763
9. INF6 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вер...	Семантический резонанс зна...		1.000	1.000	1.000	19.307	18.207	4.650	19.307	1.000	1.000	1.000	0.763
10. INF7 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вер...	Семантический резонанс зна...		1.000	1.000	1.000	19.307	18.207	4.650	19.307	1.000	1.000	1.000	0.763
10. INF7 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вер...	Средн. знаний		0.444	1.000	0.615	19.862	2.483	4.650	19.862	0.809	1.000	0.934	0.828

Рисунок 4. Экранная форма с оценкой достоверности моделей с разными частными и интегральными критериями на основе метрики, предложенной Е.В. Луценко, сходной с F-критерием, но не предполагающей нормальность распределения, а лишь интегрально учитывающей верные и ошибочные результаты идентификации и не идентификации

На основе этого можно говорить о наличии достоверной зависимости интенсивности распространения и развития курчавости листьев персика от погодных условий текущего и предыдущего года.

Частотные распределения модулей уровня сходства объектов с классами представлены на рис. 5 и также подтверждают, что созданная модель не дает ложных решений.

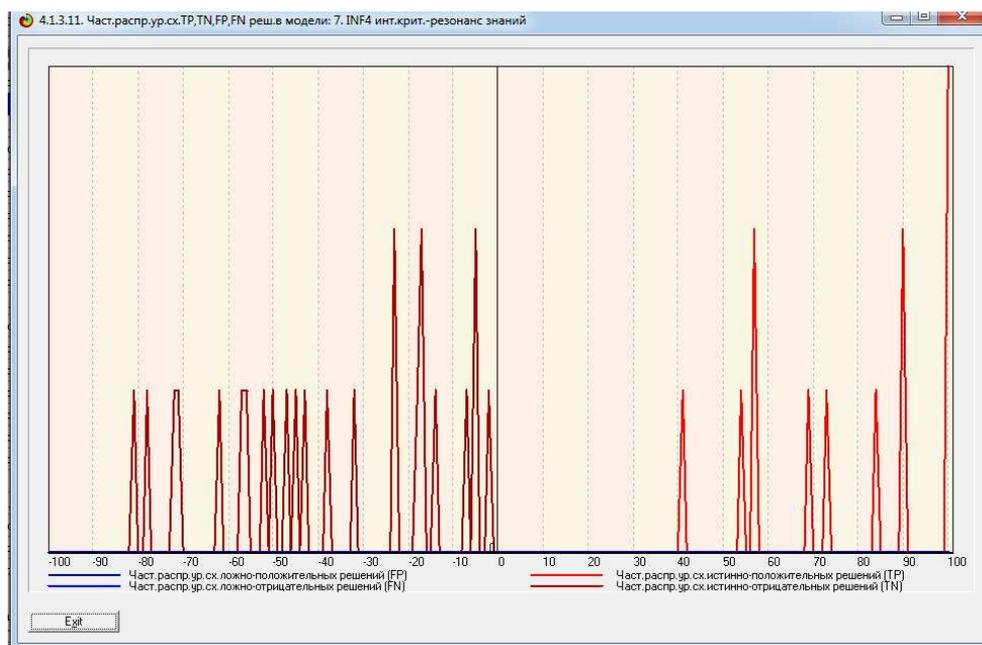


Рисунок 5. Частотные распределения модулей уровня сходства объектов с классами при TP, TN, FP и FN решениях при в RND-INF4 модели, при интегральном критерии «резонанс знаний»

В соответствии с технологией АСК-анализа необходимо определиться, какая из созданных моделей будет использоваться в дальнейшем для решения задач прогнозирования, принятия решений и исследования моделируемой предметной области [16]. Как правило, для этого выбирается наиболее достоверная из созданных моделей. В нашем случае, можно выбрать любую из моделей – Inf4, Inf5, Inf6 или Inf7. Поскольку они имеют одинаковую достоверность, для дальнейшего анализа будем использовать Inf4. В основе этой модели лежит частный критерий ROI – Return On Investment, 1-й вариант расчета относительных частот:  $N_j$  – суммарное ко-

личество признаков по  $j$ -му классу. Расчет ROI через относительные частоты:

$$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i},$$

где  $I_{ij}$  – 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;

$P_i$  – 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.

Расчет ROI через абсолютные частоты:

$$I_{ij} = \frac{N_{ij} \cdot N}{N_i \cdot N_j} - 1;$$

где  $N_i$  – количество встреч  $i$ -го значения прошлого параметра по всей выборке;

$N_j$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра по всей выборке [13].

Принятие решения – это задача, обратная задаче прогнозирования. Если при прогнозировании мы по значениям действующих факторов определяем будущее состояние объекта управления, то при принятии решений мы наоборот, по будущему состоянию (желательному или нежелательному) определяем какие значения факторов его обуславливают [16].

В системе «Эйдос» есть много различных режимов и выходных форм, содержащих знания для принятия решений [16], в том числе режим 4.4.10. С точки зрения защиты растений и своевременного планирования предупредительных и истребительных защитных мер нам интересны причины, вызывающие наиболее высокие уровни распространения и развития курчавости листьев персика (рис. 6 и 7).

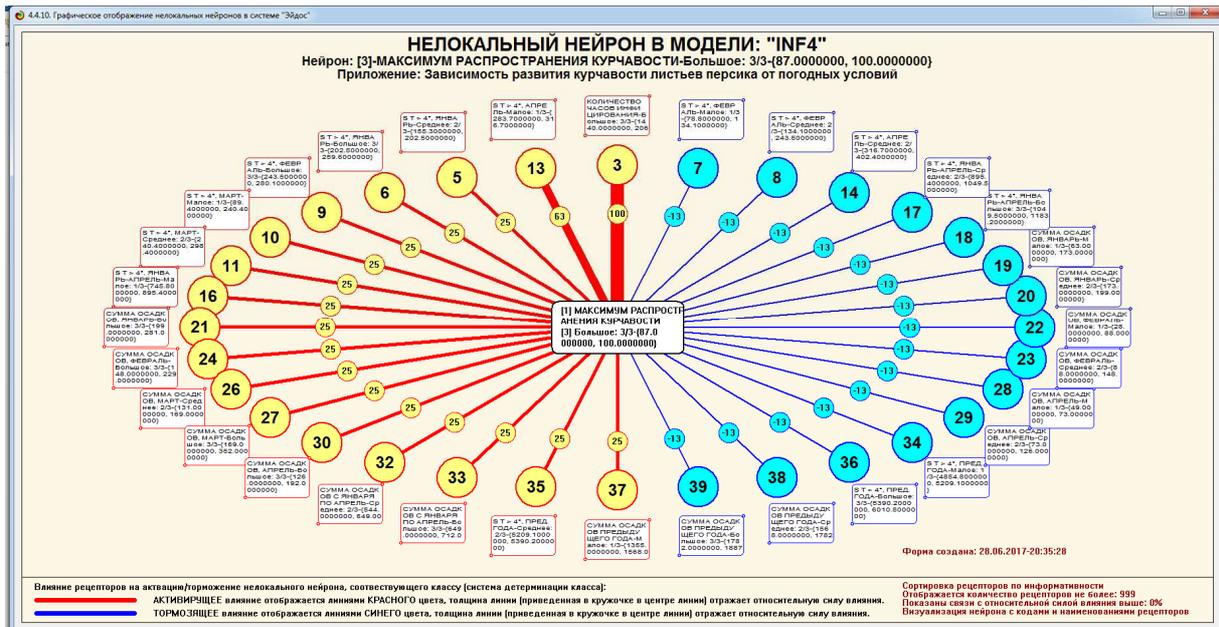


Рисунок 6. Экранная форма, отображающая систему детерминации класса «Максимум развития курчавости (Большое)».

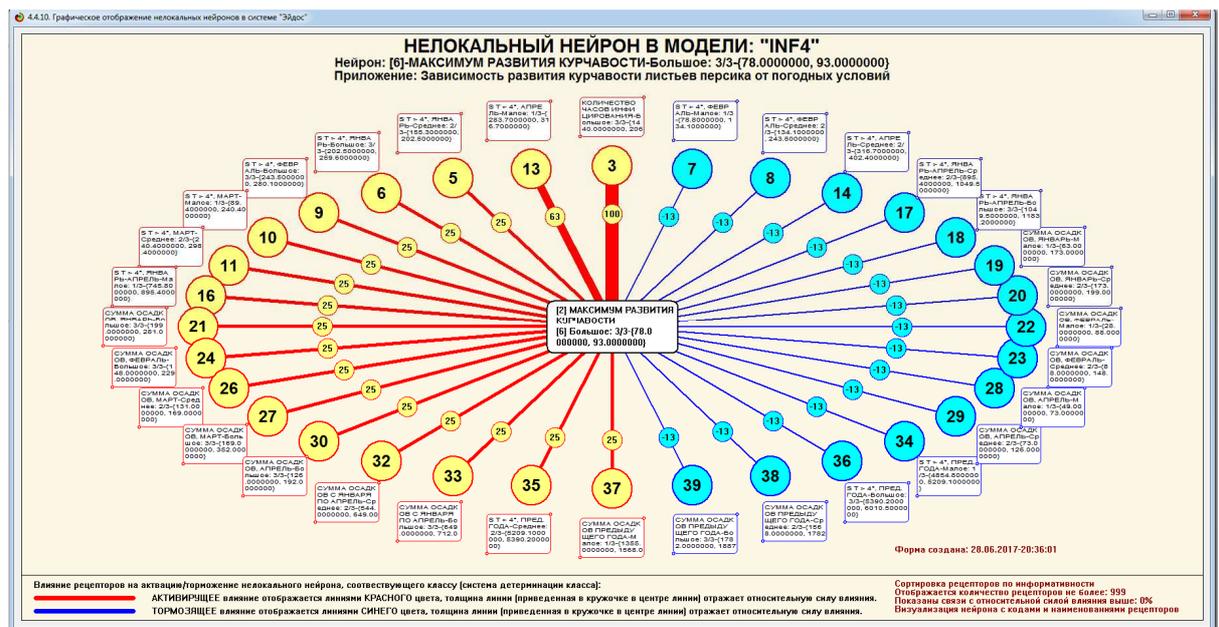


Рисунок 7. Экранная форма, отображающая систему детерминации класса «Максимум распространения курчавости (Большое)».

Толщина линий соответствует силе влияния факторов, а цвет линии – знаку влияния. Таким образом, на максимальные значения развития и распространения курчавости в первую очередь оказывают влияние определенные интервалы таких факторов, как количество часов инфицирования и сумма температур выше +4 °C в апреле.

Если модель объекта достаточно адекватна, то ее исследование корректно считать исследованием самого моделируемого объекта [16]. В нашем случае это именно так. Паретто-кривая значимости градаций описательных шкал, т.е. значений экологических факторов (рис. 8), наглядно показывает, что в модели Inf4 около 50 % суммарного влияния всех значений погодных факторов обусловлено примерно 33 % от их числа.

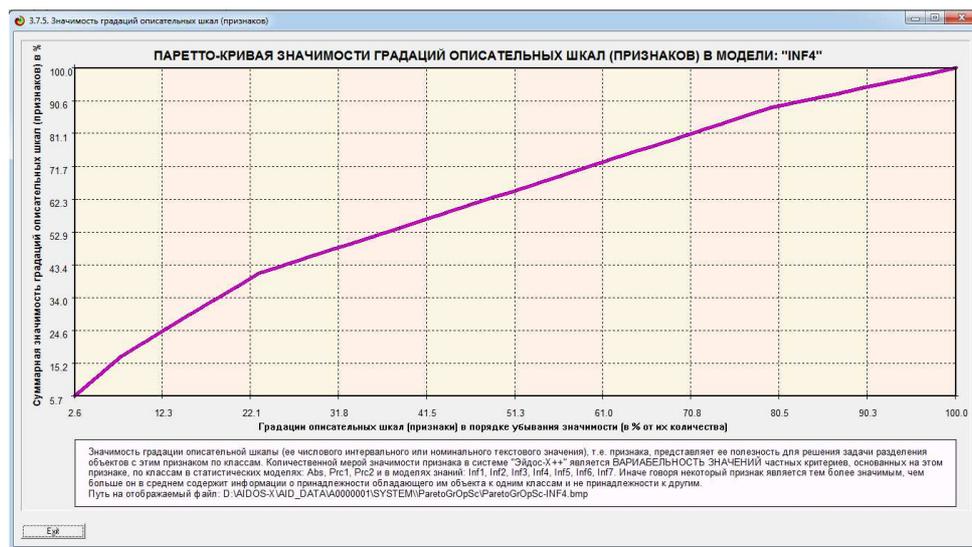


Рисунок 8. Паретто-кривая значимости значений погодных факторов

В процентном соотношении значимость погодных факторов для развития и распространения курчавости листьев персика отражено в табл. 2.

Таким образом, погодные факторы, влияющие на распространение и развитие курчавости листьев персика, различаются по силе своего влияния. Наибольшую значимость имеют такие факторы как Количество часов инфицирования, Сумма температур выше +4 °C в апреле и в период с января по апрель, а также Сумма осадков в марте и в апреле. Все наиболее весомые факторы относятся к погодным условиям текущего года, что позволяет на их основе строить краткосрочный прогноз. В то же время, факторы погодных условий предыдущего года имеют невысокую значимость, поэтому вопрос долгосрочного прогнозирования развития и распространения курчавости пока остается открытым. В дальнейшем мы ставим перед собой

задачу поиска дополнительных факторов, отражающих условия предыдущего года, которые будут иметь больший вес.

Таблица 2. Значимость погодных факторов в модели их влияния на интенсивность распространения и развития курчавости листьев персика

№	Фактор	Значимость фактора, %	Значимость фактора нарастающим итогом, %
1	Количество часов инфицирования	17,2158300	17,2158300
2	$\Sigma T > 4^\circ$ , апрель текущего года	10,1397854	27,3556154
3	$\Sigma T > 4^\circ$ , январь-апрель текущего года	10,1397854	37,4954008
4	Сумма осадков, март текущего года	7,5805350	45,0759358
5	Сумма осадков, апрель текущего года	7,5805350	52,6564707
6	Сумма осадков, январь текущего года	6,4559354	59,1124062
7	Сумма осадков, февраль текущего года	6,4559354	65,5683416
8	$\Sigma T > 4^\circ$ , предыдущего года	6,4559354	72,0242770
9	Сумма осадков предыдущего года	6,4559354	78,4802125
10	$\Sigma T > 4^\circ$ , январь текущего года	5,7386100	84,2188225
11	$\Sigma T > 4^\circ$ , февраль текущего года	5,7386100	89,9574325
12	$\Sigma T > 4^\circ$ , март текущего года	5,7386100	95,6960425
13	Сумма осадков с января по апрель текущего года	4,3039575	100,0000000

О силе влияния того или иного фактора также можно судить по графику визуализации когнитивных функций. В когнитивной функции количество информации в аргументе о значении функции отображено цветом. Аппроксимация сделана на основе предложенной автором модификации взвешенного метода наименьших квадратов путем применения в качестве весов наблюдений количества информации в аргументе о значении функции [15]. Ширина полосы аппроксимации обратно пропорциональна количеству информации, т.е. чем уже полоса, тем более определено фактор влияет на то или иное состояние.

Так, в нашем случае можно считать, что фактор «Количество часов инфицирования» имеет высокую степень влияния на развитие курчавости листьев персика (рис. 9). При этом очевидно, что чем больше значение этого фактора, тем выше максимальный уровень развития курчавости.

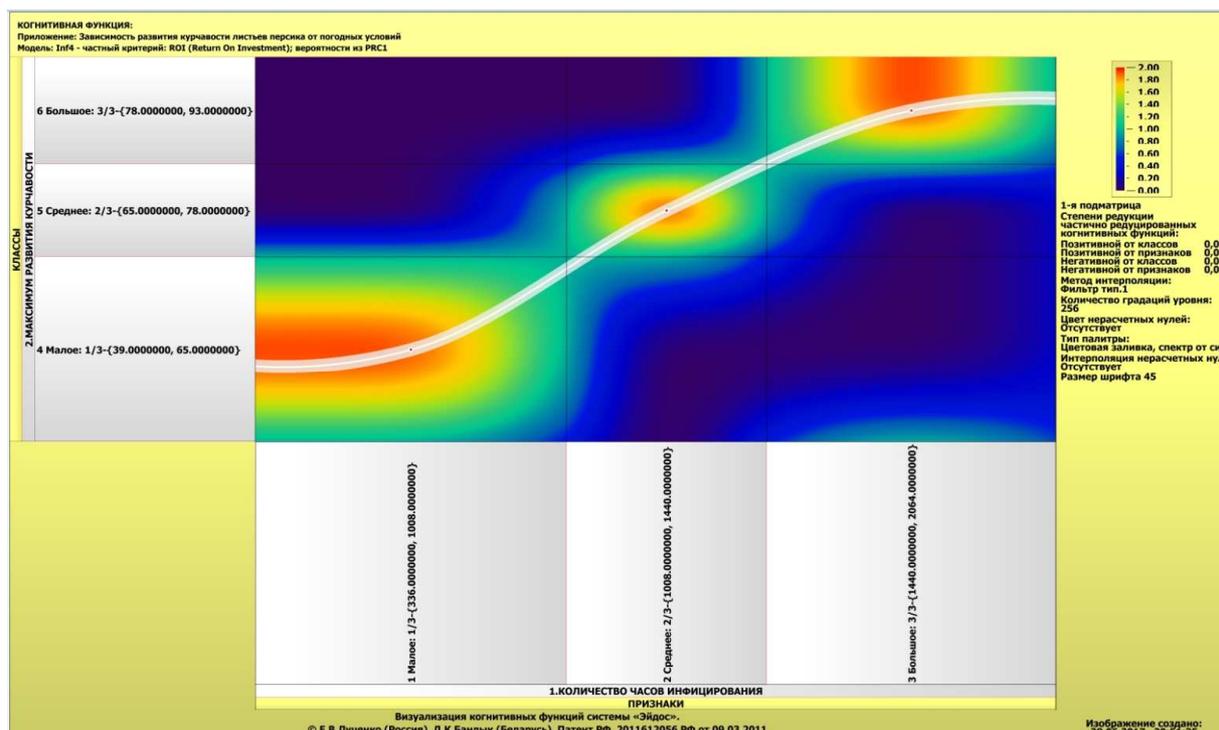


Рисунок 9. Количество информации о максимумах развития курчавости листьев персика, в сведениях о количестве часов инфицирования

Система «Эйдос» обеспечивает автоматизацию SWOT-анализа, который является широко известным и общепризнанным методом стратегического планирования [16]. Этот подход дает возможность оценить, какие факторы способствуют, а какие препятствуют проявлению тех или иных состояний. Остановимся на факторах, вызывающих наиболее высокие и наиболее низкие уровни распространения и развития курчавости листьев персика (рис. 10, 11).

Высокие показатели распространения и развития курчавости обуславливаются количеством часов инфицирования в диапазоне 1440...2064 час., низкими температурами в марте и апреле (сумма температур выше +4 °С – 89,4-240,4° и 283,7-316,7°, соответственно), но высокими в январе и феврале (сумма температур выше +4 °С – 155,3-259,6° и 243,5-280,1°, соответственно).

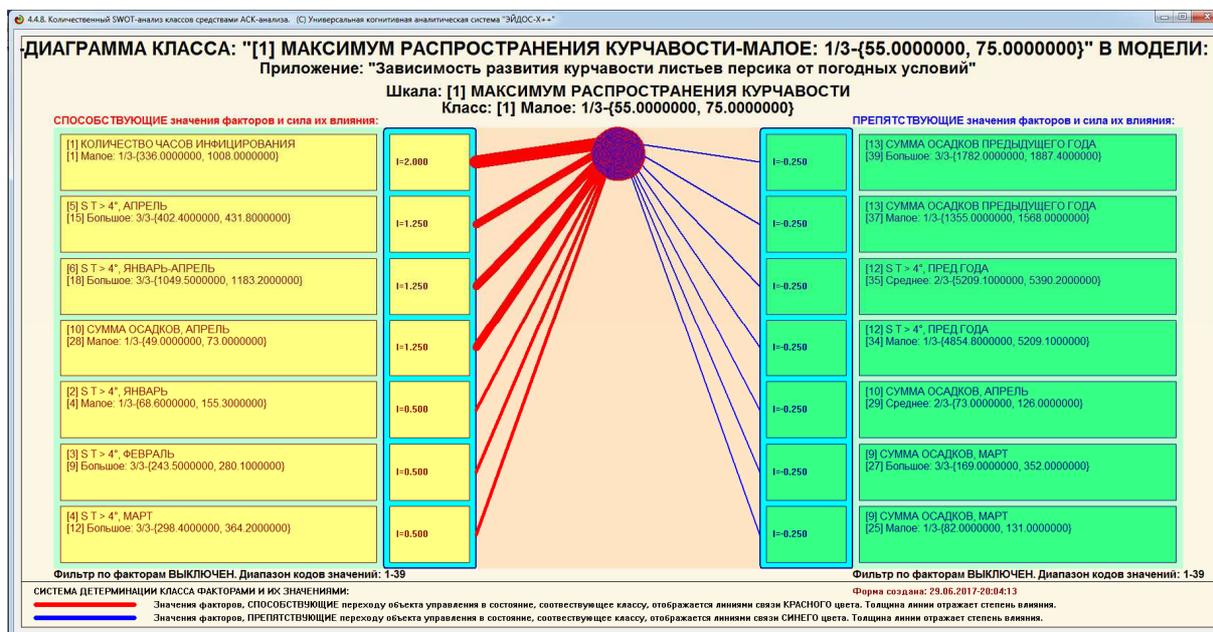
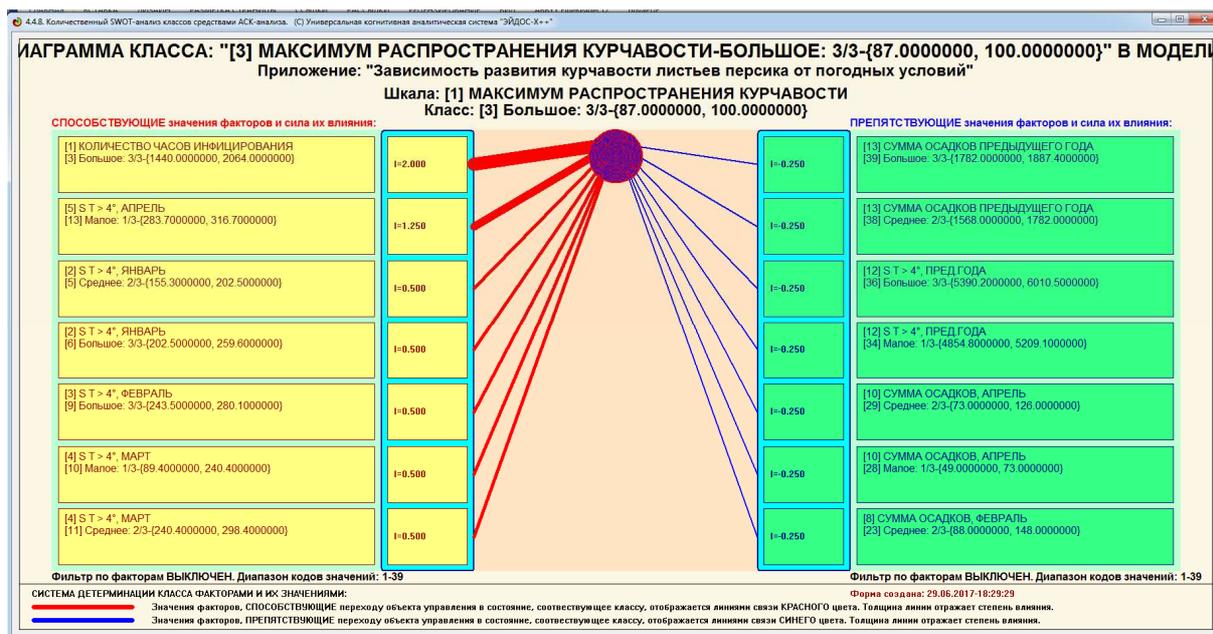


Рисунок 10. SWOT-диаграммы влияния погодных факторов на распространение курчавости

Низкие показатели распространения и развития курчавости обуславливаются малым количеством часов инфицирования (в диапазоне 336...1008 час.), высокими температурами воздуха (сумма температур выше +4 °C – 402,4-431,8°) при низком количестве осадков (49-73 мм) в апреле.

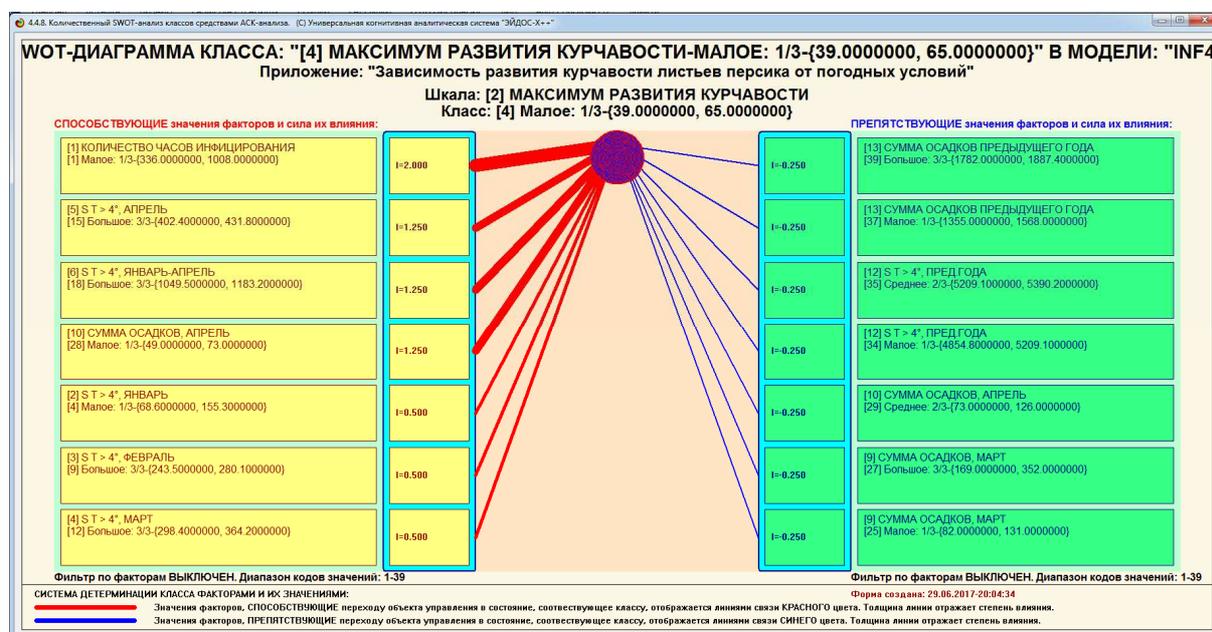
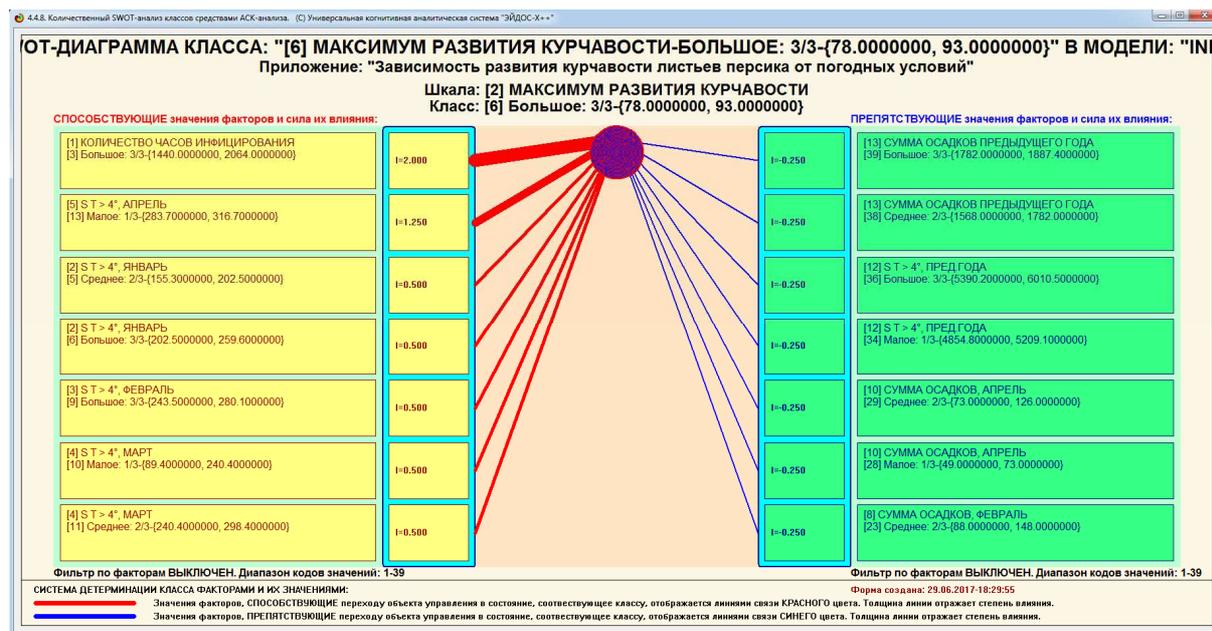


Рисунок 11. SWOT-диаграммы влияния погодных факторов на развитие курчавости

Как видно из SWOT-диаграмм, распространение и развитие курчавости определяются одними и теми же факторами, что объясняется высокой степенью положительной корреляции между этими показателями (табл. 3). Система «Эйдос» позволяет получить не только коэффициенты корреляции между рассматриваемыми классами, но наглядно отразить уровень взаимосвязи в виде семантической сети (рис. 12). Аналогичный анализ при

необходимости возможно провести и с используемыми в модели факторами.

Таблица 3. Матрица сходства (коэффициенты корреляции) между классами в модели Inf4

Номер класса	1	2	3	4	5	6
1	100,00	-16,97	-21,70	100,00	-16,97	-21,70
2	-16,97	100,00	-35,45	-16,97	100,00	-35,45
3	-21,70	-35,45	100,00	-21,70	-35,45	100,00
4	100,00	-16,97	-21,70	100,00	-16,97	-21,70
5	-16,97	100,00	-35,45	-16,97	100,00	-35,45
6	-21,70	-35,45	100,00	-21,70	-35,45	100,00

Примечание: Номера классов: 1 – Распространение курчавости – малое: {55.0 – 75.0 %}  
 2 – Распространение курчавости – среднее: {75.0 – 87.0 %}  
 3 – Распространение курчавости – большое: {87.0 – 100.0 %}  
 4 – Развитие курчавости – малое: {39.0 – 65.0 %}  
 5 – Развитие курчавости – среднее: {65.0 – 78.0 %}  
 6 – Развитие курчавости – большое: {78.0 – 93.0 %}

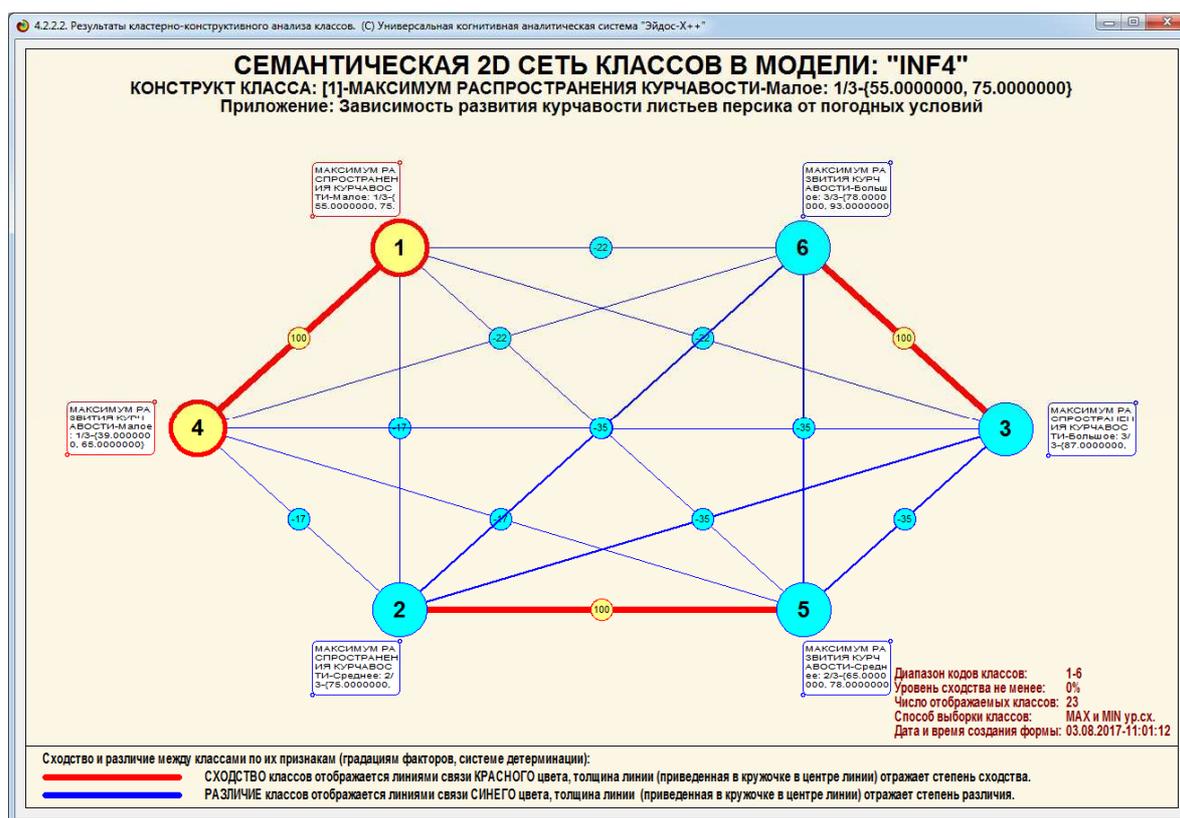


Рисунок 12. Семантическая 2D сеть классов в модели Inf4, отражающая степень корреляции между

Наглядно степень влияния гидротермических факторов на состояние изучаемых параметров (развитие и распространение болезни) можно оценить в режиме 4.4.11, построив Парето-подмножество нелокальной

нейронной сети (рис. 13). В случае разработки прогноза развития той или иной болезни в зависимости от совокупности факторов, именно этот режим системы «Эйдос» дает исследователю наиболее целостную картину.

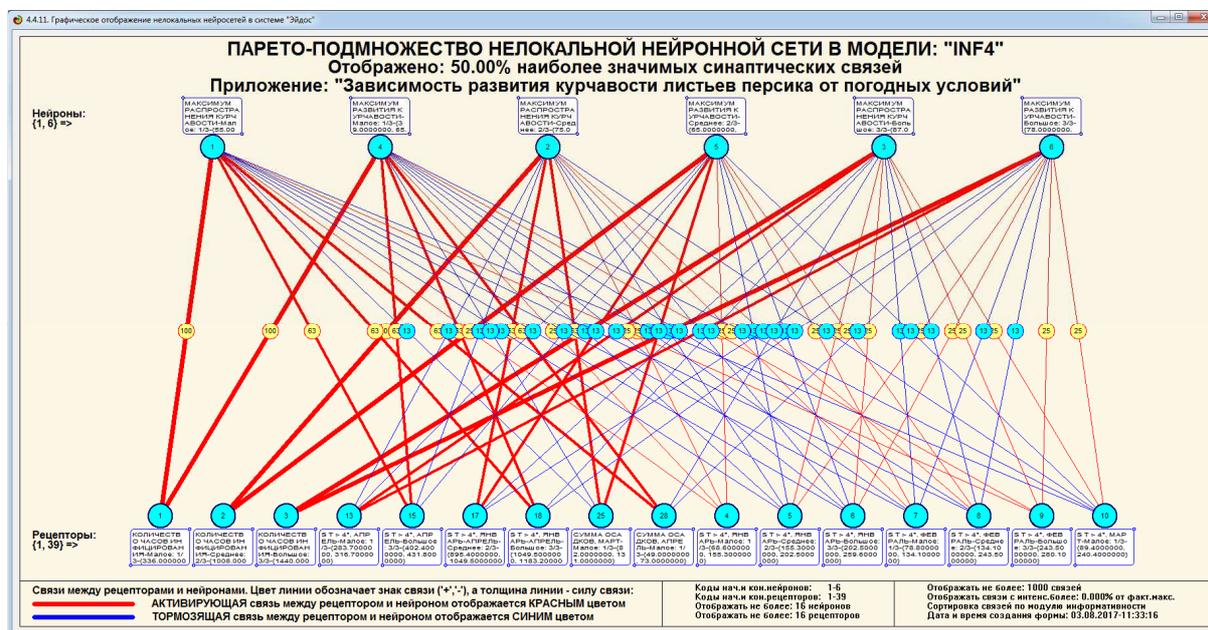


Рисунок 13. Парето-подмножество нелокальной нейронной сети в модели Inf4

Результаты АСК-анализа полученной модели позволяют ежегодно научно-обоснованно строить краткосрочный прогноз развития и распространения курчавости листьев персика в зоне влажных субтропиков. Зная погодные условия периода январь-апрель текущего года (или метеорологический прогноз на этот период) можно гибко планировать объемы защитных мероприятий и, в случае ожидаемой низкой степени развития и распространения болезни, ограничиваться применением безопасных для человека и окружающей среды препаратов-иммуоиндукторов или их баковых смесей с половинными дозировками химических фунгицидов [4, 5, 19]. Возможность минимизации применения химических средств защиты растений особенно остро стоит в исследуемом регионе, т.к. он является одним из популярнейших курортов страны.

**Выводы.** 1. Автоматизированный системно-когнитивный анализ показал, что наибольшую значимость в динамике развития и распростране-

ния курчавости листьев персика имеют такие факторы как Количество часов инфицирования, Сумма температур выше  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  в апреле и в период с января по апрель, а также Сумма осадков в марте и в апреле.

2. Высокие показатели распространения и развития курчавости обуславливаются количеством часов инфицирования в диапазоне 1440...2064 час., низкими температурами воздуха в марте и апреле (сумма температур выше  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $89,4-240,4^{\circ}$  и  $283,7-316,7^{\circ}$ , соответственно) и высокими – в январе и феврале (сумма температур выше  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $155,3-259,6^{\circ}$  и  $243,5-280,1^{\circ}$ , соответственно).

Таким образом, применение АСК-анализа в защите растений показало себя эффективным методом выявления факторов, влияющих на динамику развития болезней, в тех случаях, когда период наблюдений невелик. В дальнейшем, этот метод даст возможность более подробно изучить причины развития и других болезней культурных растений.

**Перспективы продолжения исследований.** С позиций теории и методологии научного познания полученные результаты являются обобщением фактов в форме эмпирической закономерности, точнее в форме *содержательной феноменологической модели* [17]. Для повышения полученного статуса результатов в соответствии с внутренней логикой процесса познания [17] необходимо:

1) провести аналогичные исследования *в исследуемом регионе на других видах возбудителей болезней и вредителей растений* с возможностью сравнения результатов и выявления видовых особенностей и общебиологических зависимостей, имеющих уже статус *эмпирического закона*;

2) провести аналогичные исследования развития курчавости листьев персика *в других регионах* с возможностью сравнения результатов и выявления региональных особенностей и внерегиональных зависимостей, имеющих уже статус *эмпирического закона*;

3) разработать *содержательную интерпретацию* выявленного в результате межрегиональных исследований эмпирического закона [17], т.е. *объяснить механизм действия открытых закономерностей*. Это позволит повысить статус полученных результатов до уровня *научного закона*, имеющего уже *область действия*, которая распространяется на все регионы, где действуют те же причины и механизмы детерминации изучаемых явлений, что и в исследованных регионах [17].

Третий пункт требует пояснения. Проведенное исследование, а также и его межрегиональные и общебиологические обобщения, обеспечивает разработку системно-когнитивных моделей, отражающих, *какое количество информации содержится в различных значениях факторов о переходе объекта моделирования в различные будущие состояния*. В системно-когнитивном анализе формулируется *гипотеза* о том, что это количество информации и ее знак отражают, соответственно, силу и направление действия реально существующих в моделируемой предметной области причинно-следственные закономерностей. В проведенном исследовании мы выявили и описали эти закономерности. Однако исследование и разработка *механизма действия* этих закономерностей остается пока за рамками исследования, как в связи с ограниченностью объема данной работы, так и в связи с тем, что это является следующим этапом исследований. В продолжении исследований и разработок в этом направлении на наш взгляд и состоит их перспектива.

#### **Литература:**

1. Артемьев Г.В. Вредители и болезни плодовых культур на Черноморском побережье Азово-Черноморского края / Г.В. Артемьев // Тр. Сочин. опыт. станции субтропич. и южн. плод. к-р. – Краснодар: Азово-Черноморское краев. изд-во, 1935. – Вып. IX. – С. 189–226.
2. Воронихин Н.Н. Опыты борьбы с грибными заболеваниями плодовых деревьев, поставленные летом 1913 года в плодовом саду Сочинской опытной станции / Н.Н. Воронихин // Тр. Сочин. сад. сельскохоз. станции. – Сочи, 1915. – Вып. 4. – С. 137–145.

3. Игнатова Е.А., Айба Л.Я., Карпун Н.Н., Шинкуба М.Ш., Акаба Ю.Г., Михайлова Е.В. Атлас вредителей и болезней косточковых и семечковых культур на Черноморском побережье Кавказа. – Сочи-Сухум, 2016. – 142 с.
4. Карпун Н.Н., Пантия Г.Г., Михайлова Е.В., Янушевская Э.Б. Значение иммуностимуляторов в борьбе с курчавостью персика субтропической зоне Черноморского побережья // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. науч. тр. – Сочи : ВНИИЦиСК, 2015. – Вып. 55. – С. 152-158.
5. Карпун Н.Н. Эффективность применения индукторов устойчивости персика в борьбе с курчавостью / Н.Н. Карпун, Е.В. Михайлова, Э.Б. Янушевская, Г.Г. Пантия // Садоводство и виноградарство. – 2016. – №3. – С. 41-47.
6. Карпун Н.Н. Анализ комплекса вредных организмов в агроценозах южных плодовых культур во влажных субтропиках России / Н.Н. Карпун, Е.В. Михайлова // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №06(130). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/24.pdf>. – IDA [article ID]: 1301706024. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-130-024>
7. Ковтун И.Л. Усовершенствование мониторинга и контроля курчавости листьев и клястероспориоза персика в южно-предгорной зоне Краснодарского края: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Краснодар, 2007. – 24 с.
8. Леонов Н.Н. Курчавость листьев персика и совершенствование её контроля в зоне влажных субтропиков России: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Краснодар, 2010. – 21 с.
9. Леонов Н.Н. Зависимость динамики развития курчавости листьев персика от гидротермических условий в зоне влажных субтропиков России / Н.Н. Леонов // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. науч. тр. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2015. – Вып. 53. – С. 147-153.
10. Луценко Е.В. Универсальная автоматизированная система распознавания образов "Эйдос" (версия 4.1) / Е.В. Луценко. – Краснодар: КЮИ МВД РФ, 1995. – 76 с.
11. Луценко Е.В. Теоретические основы и технология адаптивного семантического анализа в поддержке принятия решений (на примере универсальной автоматизированной системы распознавания образов "ЭЙДОС-5.1") / Е.В. Луценко. – Краснодар: КЮИ МВД РФ, 1996. – 280 с.
12. 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. / Е.В. Луценко. – Краснодар: КубГАУ, 2006. – 615 с.
13. 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 КубГАУ [Электронный ресурс]. – 2013. – № 092. – С. 859-883.
14. Луценко Е.В. Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос». Монография (научное издание) / Е.В. Луценко. – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с. ISBN 978-5-94672-830-0
15. Луценко Е.В. Модификация взвешенного метода наименьших квадратов путем применения в качестве весов наблюдений количества информации в аргументе о значении функции (алгоритм и программная реализация) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – 2014. – № 104. – С. 1371-1421.

16. Луценко Е.В. АСК-анализ влияния экологических факторов на качество жизни населения региона / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – 2015. – № 110. – С. 1-37.

17. Луценко Е.В. Проблемы и перспективы теории и методологии научного познания и автоматизированный системно-когнитивный анализ как автоматизированный метод научного познания, обеспечивающий содержательное феноменологическое моделирование / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №03(127). С. 1 – 60. – IDA [article ID]: 1271703001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf/01.pdf>, 3,75 у.п.л.

18. Малина Р.Б. Фотосинтетическая продуктивность персика в связи со степенью восприимчивости листьев к патогену *Taphrina deformans* / Р.Б. Малина, Г.В. Шишкану // Плодоводство и ягодоводство России. – 2013. – Т. 36, № 2. – С. 23-28.

19. Михайлова Е.В. Роль неспецифического индуцированного иммунитета персика в формировании устойчивости к *Taphrina deformans* (Berk.) Tul. / Е.В. Михайлова, Н.Н. Карпун, Э.Б. Янушевская // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 43. – С. 146-153.

20. Щербакова Л.Н. Защита растений. Учебное пособие для студентов техникумов / Л.Н. Щербакова, Н.Н. Карпун. – М.: Академия, 2008. – 272 с.

21. Giosuè S. Forecasting Infections of the Leaf Curl Disease on Peaches Caused by *Taphrina deformans* / S. Giosuè, G. Spada, V. Rossi, G. Carli, I. Ponti // European Journal of Plant Pathology. – 2000. – Vol. 106, № 6. – P. 563-571. – DOI: 10.1023/A:1008778814623

22. Rossi V. Influence of weather conditions on infection of peach fruit by *Taphrina deformans* / V. Rossi, M. Bolognesi, S. Giosuè // Phytopathology. – 2007. – 97. – P. 1625-1633.

23. Thomidis T. Evaluation of a disease forecast model for peach leaf curl in the Prefecture of Imathia, Greece / T. Thomidis V., Rossi, E. Exadaktylou // Crop Protection. – 2010. – Vol. 29, № 12. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.005>

## References

1. Artem'ev G.V. Vrediteli i bolezni plodovyh kul'tur na Chernomorskom poberezh'e Azovo-Chernomorskogo kraja / G.V. Artem'ev // Tr. Sochin. opyt. stancii subtropich. i juzhn. plod. k-r. – Krasnodar: Azovo-Chernomorskoe kraev. izd-vo, 1935. – Vyp. IX. – S. 189–226.

2. Voronihin N.N. Opyty bor'by s gribnymi zabojevanijami plodovyh derev'ev, postavlennye letom 1913 goda v plodovom sadu Sochinskoj opytnoj stancii / N.N. Voronihin // Tr. Sochin. sad. sel'skohoz. stancii. – Sochi, 1915. – Vyp. 4. – S. 137-145.

3. Ignatova E.A., Ajba L.Ja., Karpun N.N., Shinkuba M.Sh., Akaba Ju.G., Mihajlova E.V. Atlas vreditel'ej i boleznej kostochkovykh i semechkovykh kul'tur na Chernomorskom poberezh'e Kavkaza. – Sochi-Suhum, 2016. – 142 s.

4. Karpun N.N., Pantija G.G., Mihajlova E.V., Janushevskaja Je.B. Znachenie immunostimuljatorov v bor'be s kurchavost'ju persika subtropicheskoy zone Chernomorskogo poberezh'ja // Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo: sb. nauch. tr. – Sochi : VNIICiSK, 2015. – Vyp. 55. – S. 152-158.

5. Karpun N.N. Jefferektivnost' primenenija induktorov ustojchivosti persika v bor'be s kurchavost'ju / N.N. Karpun, E.V. Mihajlova, Je.B. Janushevskaja, G.G. Pantija // Sadovodstvo i vinogradarstvo. – 2016. – №3. – S. 41-47.

6. Karpun N.N. Analiz kompleksa vrednyh organizmov v agrocenozah juznykh plodovyh kul'tur vo vlaznykh subtropikah Rossii / N.N. Karpun, E.V. Mihajlova // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №06(130). –

Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/24.pdf>. – IDA [article ID]: 1301706024.  
<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-130-024>

7. Kovtun I.L. Usovershenstvovanie monitoringa i kontrolja kurchavosti list'ev i kljasterosporioza persika v juzhno-predgornoj zone Krasnodarskogo kraja: avtoref. diss. ... kand. s.-h. nauk. – Krasnodar, 2007. – 24 s.

8. Leonov N.N. Kurchavost' list'ev persika i sovershenstvovanie ejo kontrolja v zone vlazhnyh subtropikov Rossii: avtoref. diss. ... kand. s.-h. nauk. – Krasnodar, 2010. – 21 s.

9. Leonov N.N. Zavisimost' dinamiki razvitija kurchavosti list'ev persika ot gidrotermicheskih uslovij v zone vlazhnyh subtropikov Rossii / N.N. Leonov // Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo: sb. nauch. tr. – Sochi: VNIICiSK, 2015. – Vyp. 53. – S. 147-153.

10. Lucenko E.V. Universal'naja avtomatizirovannaja sistema raspoznavanija obrazov "Jejdos" (versija 4.1) / E.V. Lucenko. – Krasnodar: KJuI MVD RF, 1995. – 76 s.

11. 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") / E.V. Lucenko. – Krasnodar: KJuI MVD RF, 1996. – 280 s.

12. Lucenko E.V. Intellektual'nye informacionnye sistemy: Uchebnoe posobie dlja studentov special'nosti "Prikladnaja informatika (po oblastjam)" i drugim jekonomicheskim special'nostjam. 2-e izd., pererab. i dop. / E.V. Lucenko. – Krasnodar: KubGAU, 2006. – 615 s.

13. 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 KubGAU [Jelektronnyj resurs]. – 2013. – № 092. – S. 859-883.

14. Lucenko E.V. Universal'naja kognitivnaja analiticheskaja sistema «Jejdos». Monografija (nauchnoe izdanie) / E.V. Lucenko. – Krasnodar, KubGAU. 2014. – 600 s. ISBN 978-5-94672-830-0

15. Lucenko E.V. Modifikacija vzveshennogo metoda naimen'shij kvadratov putem primenenija v kachestve vesov nabljudenij kolichestva informacii v argumente o znachenii funkcii (algoritm i programmnaja realizacija) / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. – 2014. – № 104. – S. 1371-1421.

16. Lucenko E.V. ASK-analiz vlijanija jekologicheskijh faktorov na kachestvo zhizni naselenija regiona / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. – 2015. – № 110. – S. 1-37.

17. Lucenko E.V. Problemy i perspektivy teorii i metodologii nauchnogo poznaniya i avtomatizirovannyj sistemno-kognitivnyj analiz kak avtomatizirovannyj metod nauchnogo poznaniya, obespechivajushhij sodержatel'noe fenomenologicheskoe modelirovanie / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №03(127). S. 1 – 60. – IDA [article ID]: 1271703001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf/01.pdf>, 3,75 u.p.l.

18. Malina R.B. Fotosinteticheskaja produktivnost' persika v svjazi so stepen'ju vospriimchivosti list'ev k patogenu Taphrina deformans / R.B. Malina, G.V. Shishkanu // Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii. – 2013. – T. 36, № 2. – S. 23-28.

19. Mihajlova E.V. Rol' nespecificeskogo inducirovannogo immuniteta persika v formirovanii ustojchivosti k Taphrina deformans (Berk.) Tul. / E.V. Mihajlova, N.N. Karpun, Je.B. Janushevskaja // Plodovodstvo i jagodovodstvo Rossii. – 2015. – T. 43. – S. 146-153.

20. Shherbakova L.N. Zashhita rastenij. Uchebnoe posobie dlja studentov tehnikumov / L.N. Shherbakova, N.N. Karpun. – M.: Akademija, 2008. – 272 s.
21. Giosuè S. Forecasting Infections of the Leaf Curl Disease on Peaches Caused by *Taphrina deformans* / S. Giosuè, G. Spada, V. Rossi, G. Carli, I. Ponti // *European Journal of Plant Pathology*. – 2000. – Vol. 106, № 6. – R. 563-571. – DOI: 10.1023/A:1008778814623
22. Rossi V. Influence of weather conditions on infection of peach fruit by *Taphrina deformans* / V. Rossi, M. Bolognesi, S. Giosuè // *Phytopathology*. – 2007. – 97. – R. 1625-1633.
23. Thomidis T. Evaluation of a disease forecast model for peach leaf curl in the Prefecture of Imathia, Greece / T. Thomidis V., Rossi, E. Exadaktylou // *Crop Protection*. – 2010. – Vol. 29, № 12. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.005>