

А. С. Воробей, А. В. Ленский, П. П. Бегун

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru*

ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Аннотация. В статье рассмотрены принципы и методы органического сельского хозяйства. Представлены машины, разработанные РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», относящиеся к VI технологическому укладу.

Ключевые слова: искусственный интеллект, органическое сельское хозяйство, роботизированная платформа, мониторинг, техническое зрение.

A. S. Vorobei, A. V. Lenski, P. P. Begun

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru*

TECHNOLOGICALS ON A BASE ARTIFICIAL INTELLIGENS BY PRODUCE ORGANIC AGRICULTURE

Abstract. The article provides a principles and methods organic agriculture. A list of machines developed by RUE “SPC NAS of Belarus for the mechanization of agriculture” within the framework of the VI technological order is presented.

Keywords: artificial intelligence, organic agriculture, robotic platform, monitoring, technical vision.

Введение

Аргумент в пользу массового внедрения ИИ-технологий в сельском хозяйстве часто формулируется так: население Земли к 2050 г. достигнет 10 млрд человек, радикально увеличить обрабатываемые площади невозможно, необходимо повысить интенсивность их использования.

Для того, чтобы прокормить население мира к 2050 г., глобальное продовольственное производство может потребовать увеличение объема производства от 60 до 110 % [1–5]. Эта задача дополнительно усложняется необходимостью не только производить больше, но и гораздо эффективнее управлять всей цепочкой поставок продовольствия, уменьшая отходы, которые достигли неприемлемых масштабов (по разным оценкам более 30 %), а также способствуя лучшему доступу к питанию и распределению продовольствия [6].

Органическое (экологическое, биологическое) сельское хозяйство – метод ведения сельского хозяйства, в рамках которого происходит сознательная минимизация использования синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, кормовых добавок [7].

Основная часть

Согласно формулировке организации International Federation of Organic Agriculture Movements: «Органическое сельское хозяйство – производственная система, которая поддерживает здоровье почв, экосистем и людей. Зависит от экологических процессов, биологического разнообразия и природных циклов, характерных для местных условий, избегая использования неблагоприятных ресурсов. Органическое сельское хозяйство объединяет традиции, нововведения и нау-

ку, чтобы улучшить состояние окружающей среды и развивать справедливые взаимоотношения и достойный уровень жизни для всего вышеуказанного».

Международная федерация экологического сельскохозяйственного движения (IFOAM) рассматривает органическое сельское хозяйство как комплекс мероприятий, направленных на работу с экосистемами, биогеохимическими циклами веществ и элементов, на их поддержание и получение эффекта от их оптимизации. Органическое сельское хозяйство предполагает в долгосрочной перспективе поддерживать здоровье как конкретных объектов, с которым имеет дело (растений, животных, почвы, человека), так и всей планеты.

В последние десятилетия спрос на органические продукты резко увеличился. По данным Ассоциации органической торговли, продажи увеличились с 1 млрд долл. США в 1990 г. до 35,1 млрд долл. США в 2013 г., более 90 % из которых пришлось на продажу продуктов питания, в 2022 г. объем продаж только органических продуктов питания превысил 60 млн долл. США [8]. Рынок органических продуктов может стать основой на пути к достижению Целей устойчивого развития, однако многие исследователи подчеркивают, что при полном переходе от традиционного сельского хозяйства к органическому невозможно будет обеспечить население планеты продовольствием из-за низкой урожайности в органическом сельском хозяйстве.

У органического сельского хозяйства есть свои принципы и методы. Принципы органического земледелия в настоящее время рассматриваются как основа развития этой отрасли во всем мире. Рассмотрим сначала принципы.

1. Принцип здоровья – органическое сельское хозяйство должно поддерживать и улучшать здоровье почвы, растений, животных, людей и планеты, как единого и неделимого целого.

2. Принцип экологии – органическое сельское хозяйство должно основываться на правилах существования естественных экологических систем и циклов, работая, сосуществуя с ними и поддерживая их.

3. Принцип справедливости – органическое сельское хозяйство должно строиться на отношениях, которые гарантируют справедливость с учетом общей окружающей среды и жизненных возможностей.

4. Принцип заботы – управление органическим сельским хозяйством должно носить предупредительный и ответственный характер для защиты здоровья и благополучия нынешних и будущих поколений и окружающей среды [9].

Высокая цена на органические продукты относительно обычных продуктов питания объясняется теорией спроса и предложения [10]. По мере популяризации экологичного образа жизни, распространения информации о вредных последствиях синтетических удобрений, пестицидов, гормонов роста и пр. потребители все больше предпочитают безопасные экологически чистые продукты. В развитых странах изменение потребительских предпочтений в сочетании с высокими доходами, что позволяет приобретать дорогие продукты питания, сделало органические продукты более востребованными.

Рассмотрим также методы органического сельского хозяйства:

– отказ от использования фунгицидов, гербицидов, искусственных удобрений и антибиотиков [11, 12];

– применение животных и растительных отходов в качестве удобрений;

– использование севооборота для восстановления почвы;

– применение биологических способов защиты растений;

– использование замкнутого цикла земледелие-скотоводство (растениеводство – корм, скотоводство – удобрения) [13].

Быстрорастворимые минеральные удобрения и пестициды запрещены (при «исключительных случаях» с высоким риском потери урожая допускается использование продуктов синтетической химии) [14].

В животноводстве признаком органического сельского хозяйства является «видосоответствующее содержание животных»: отказ от круглогодичного стойлового содержания, обязательный выпас скота, неиспользование синтетических кормовых добавок и гормонов, запрет на превентивное использование антибиотиков [11].

Российский рынок органической продукции, по сравнению с зарубежным, достаточно молод, находится на начальном этапе развития. В стоимостном выражении за последние 15 лет он вырос в 10 раз: с 16 млн долл. США в начале 2000-х гг. до 160 млн долл. США в 2016 г. Изначально рынок «органики» на 100 % был представлен импортной продукцией (в основном из Германии, Франции и Италии), но в 2016 г. «органика» отечественного производства составила уже 10 % общего объема рынка. В 2010–2014 гг. рынок органической продукции увеличивался в среднем на 10 % в год. По ряду причин (экономический спад в России, который привел к снижению реальных доходов населения, и продовольственное эмбарго, введенное в 2014 г.) рост рынка в 2015–2016 гг. был более умеренным, возрастая ежегодно по оценкам Национального органического союза на 4 %. Однако, несмотря на позитивные изменения за последнее десятилетие, доля России на мировом рынке органических продуктов составляет лишь 0,2 % [13].

Рассмотрим развитие органического сельского хозяйства Республики Беларусь. Закон Республики Беларусь «О производстве и обращении органической продукции» от 9 ноября 2018 г. № 144-З вступил в силу с 18 ноября 2019 г. (далее – Закон) [15].

В Доктрине национальной продовольственной безопасности Беларуси до 2030 г. содержатся положения о необходимости развития производства органической продукции. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Беларуси на период до 2030 г. в качестве одного из главных критериев развития сельского хозяйства предусматривает рост доли органических земель в общей площади сельскохозяйственных земель до 3–4 % к 2030 г. [16].

В настоящее время в Республике Беларусь реализуется несколько основных программ по развитию сельского хозяйства, среди которых в контексте стратегии устойчивого развития государства интерес представляют «Стратегия развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015–2020 годы», «Поддержка производителей органической продукции: предпосылки, состояние и перспективы развития органического сельского хозяйства в Республике Беларусь. Концепция национальной программы». Цели и приоритеты концепции устойчивого развития предполагают дальнейшее совершенствование сельскохозяйственного производства для укрепления продовольственной безопасности государства, а также определенную трансформацию направлений развития, как ответ на усиливающийся во всём мире интерес к органическому (экологическому) производству [17].

Свое развитие органическое производство в нашей стране получило в последнее десятилетие. В 2011 г. в Беларуси впервые прошла Неделя управления экологизацией сельского хозяйства и переходом к низкоуглеродной экономике, в ходе которой были определены основные принципы устойчивого сельского хозяйства, ассоциировавшегося в то время с органическим или экологическим, биологическим. В течение последнего десятилетия в Республике Беларусь наблюдался устойчивый рост интереса к органическому производству, что обусловило необходимость актуализации нормативно-правовой базы, основываясь на современной терминологии, соответствующей мировым подходам в данной сфере, в первую очередь Международной федерации органического сельскохозяйственного движения (IFOAM) [18].

В настоящее время производством органической продукции в Республике Беларусь (оперативная информация) занимается порядка 27 субъектов хозяйствования, включая крестьянские (фермерские) хозяйства, личные подсобные хозяйства граждан, сельскохозяйственные и другие субъекты Брестской, Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областей. Около 1 600 гектаров сельскохозяйственных земель сертифицировано для производства органической продукции [19].

Но помимо принципов и методов органического сельского хозяйства нужна еще и специализированная техника. С целью не нарушать условий ведения органического сельского хозяйства в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и в рамках программ ГПНИ и БРФФИ были разработаны следующие единицы макетных образцов техники.

Система распознавания, программы искусственного интеллекта глубокого обучения и системы технического зрения сегодня являются неотъемлемой частью жизненно важных процессов. Они широко используются не только для отделения некондиционных клубней картофеля, но



Рисунок 1 – Автоматическая управляемая навесная система

и помогают трактористам производить уход пропашных растений в период вегетации, не повреждая при этом растения.

При механизированной обработке междурядий культурные растения могут повреждаться рабочими органами культиватора [20–23]. Во избежание этого рабочие органы размещают на требуемом расстоянии от рядка культурных растений. Поэтому после прохода культиватора с обеих сторон рядка оставляется необработанная полоска – защитная зона. В разные периоды обработки междурядий защитные зоны составляют 28–43 % от общей площади междурядий [24–25]. Именно такая площадь остается необработанной, что ведет к резкому снижению урожайности из-за сорняков, расположенных в защитной зоне растений. Опыт показывает, что с уменьшением защитных зон с 10–12 см до 7–8 см сорная растительность уменьшается почти в два раза.

С целью повышения качества междурядной обработки лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ГНУ «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» в рамках задания 4.39 «Исследование точности вождения пропашных культиваторов с целью повышения качества междурядных обработок» ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 гг., подпрограмма «Механизация и автоматизация процессов в АПК», выполнялась разработка и изготовление автоматической управляемой навесной системы (АУНС) для отслеживания защитной зоны культурных растений при междурядной обработке сахарной свеклы (рисунок 1).

АУНС состоит из механической части и аппаратно-программного обеспечения. Механическая часть представляет собой рамную конструкцию с верхней и нижней направляющими, по которым перемещается подвижная рамка с навешиваемым на нее культиватором. Перемещение подвижной рамки вправо или влево осуществляется гидроцилиндром посредством электромагнитного распределителя.

Основные характеристики АУНС представлены в таблице.

Основные характеристики АУНС

Наименование показателя	Значение показателя
Тип системы	навесная
Масса устройства, кг	220
Грузоподъемность, т	до 1,5
Рабочее напряжение бортовой электросети трактора, В	12

Наименование показателя	Значение показателя
Смещающий диапазон подвижной рамки, мм	± 250
Габаритные размеры, мм:	
– ширина	1 635
– высота	865
Допустимое количество ошибок, %	3
Скорость движения МТА, км/ч	от 5 до 10
Агрегируемый класс трактора, кН	1,4

В основу работы системы автоматического управления пропашным культиватором положена концепция использования визуальной информации о положении растений в рядке, полученной с видеокamеры. Вычислительный модуль, на основании полученной видеoinформации от камеры и заложенной в него логики, способен через блок управления воздействовать на гидрораспределитель, а тот, в свою очередь, посредством гидроцилиндра и подвижной части смещает сельскохозяйственную машину, к примеру, культиватор в нужную сторону. Оператор, которым является механизатор, может самостоятельно влиять на логику работы вычислительного модуля через сенсорный монитор.

В результате обученная ИНС способна успешно сегментировать рядки сахарной свеклы на различных цветных изображениях.

Однако анализ достаточно большого числа реальных кадров показал, что очень часто куполообразные участки графика не являются идеальными: они могут иметь различную амплитуду, а также различные локальные максимумы, которые отрицательным образом влияют не только на определение центров, но и количества потенциальных рядков.

В связи с этим, было предложено воспользоваться динамически определяемым порогом среза получаемых графиков. Все локальные минимумы, которые являются выше динамического порога, причисляются к глобальным, причем они автоматически ассоциируются с потенциальными рядками.

Указанная система была успешно отлажена и протестирована на экспериментальном участке сахарной свеклы в агрегате «Беларус 102.1 + КГ-1» (рисунок 2).

Использование систем технического зрения и автоматического управления культиватором позволит повысить качество междурядных обработок пропашных культур и свести пестицидную нагрузку к нулю, что, в свою очередь, удовлетворяет агротребованиям органического сельского хозяйства.



Рисунок 2 – Съем данных для создания обучающей выборки автоматически управляемой навесной системы

Результаты исследований, проводимых на опытных посевах сахарной свеклы, показали: точность отслеживания защитной зоны растений составила от $\pm 2,0$ см до $\pm 2,3$ см. Кроме того, использование автоматической управляемой навесной системы со скоростью 7,6–7,8 км/ч в контрольных точках показало, что в защитной зоне ряда уничтожалось 91 % сорняков. Что касается повреждения культурных растений в процессе исследований, то повреждаемость находилась в пределах агропуска – 3 %, при условии работы МТА со скоростью, не превышающей 8 км/ч. Повышение скорости МТА свыше 8 км/ч снижает качество выполнения междурядной обработки, ведет к увеличению количества поврежденных культурных растений.

В рамках задания «Разработка концепции создания универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур» по договору с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № Т21МН-003 от 01.07.2021 г. была предложена структура автоматизированной универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур.

Конструкция роботизированной платформы будет состоять из шасси (рама и управляемые мотор-колеса), системы навигации и управления, системы питания, датчика системы технического зрения (рисунок 3).

Достаточно весомым компонентом любого способа движения является радиус поворота агрегата. Ведь чем меньше радиус поворота, тем меньше времени и энергии затрачивается на совершение разворота.

Роботизированная платформа при повороте будет приводить все колеса в положение, как показано на рисунке 4. При прямолинейном движении все четыре колеса будут иметь возможность подруливания, при этом они будут являться ведущими (рисунок 5).

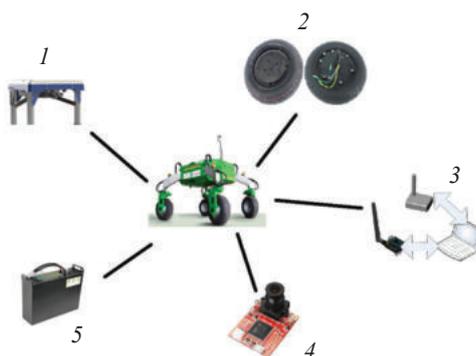


Рисунок 3 – Структурная схема роботизированной платформы: 1 – рама; 2 – управляемые мотор-колеса; 3 – система навигации и управления; 4 – система технического зрения; 5 – система питания

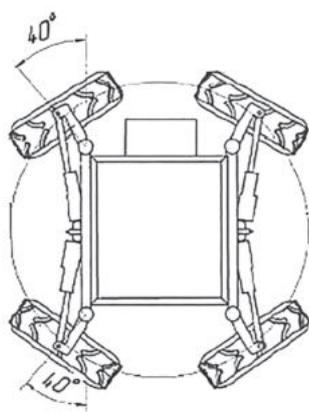


Рисунок 4 – Положение колес при развороте

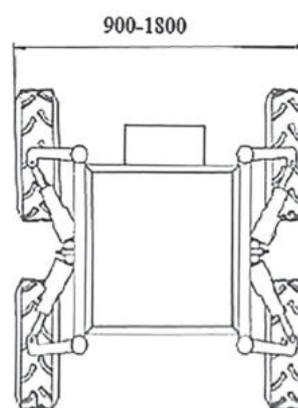


Рисунок 5 – Положение колес для прямолинейного движения

Применение роботизированной платформы позволит сократить затраты ручного труда, затраты на ГСМ, не будет происходить переуплотнения почвы, что, в свою очередь, обеспечит надежную экосистему почв.

Развитие процессов интеллектуализации позволит снизить количество занятых на опасных и вредных производствах в сельском хозяйстве, прежде всего на работах с ядохимикатами, а также на рутинных процессах. Это, в свою очередь, поможет повысить привлекательность отрасли для молодых кадров, а также привлекательность организаций сельского хозяйства для инвесторов.

Технологии искусственного интеллекта позволят увеличить точность прогнозов урожайности культур, продуктивности животных, состояния почвы и погоды. Это позволит также снизить неопределенность на рынке, затраты на страхование, привлечь дополнительные инвестиции.

Вместе с тем, применение технологий искусственного интеллекта требует обработки огромных объемов данных, энергетических затрат и дорогостоящего цифрового оборудования, что повышает требования к инфраструктуре производства и увеличивает затраты на применение искусственного интеллекта.

Заключение

Технологии искусственного интеллекта обладают значительным потенциалом для увеличения производства продуктов питания путем анализа и оптимизации сельскохозяйственного производства в каждом конкретном регионе.

Вместе с тем вопросы более широкого применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве и других отраслях требуют дальнейших исследований.

На сегодняшний день существует множество подходов к устойчивому производству продуктов питания. Органическое сельское хозяйство может стать основополагающим способом производства продуктов питания в будущем, для этого оно должно быть интегрировано в совокупность стратегий, направленных на достижение устойчивости продовольственной системы. Рынок органической продукции активно развивается в последние десятилетия. Органическая продукция контролируется сертифицирующими органами, имеет отличительные черты для потребителей, правительствами разрабатываются программы поддержки органических производителей. Рынок органических продуктов питания успешно функционирует и справляется с повышением устойчивости сельскохозяйственных систем в странах с высоким уровнем доходов и достаточным уровнем осознанности потребления. Однако большинство стран с высоким уровнем потребления органической продукции не располагает достаточным количеством сельскохозяйственных угодий для ведения органического сельского хозяйства [26].

Применение органического производства в развивающихся странах также положительно сказывается на их устойчивом развитии. Несмотря на то, что сначала потребление органической продукции может оставаться низким внутри страны из-за низкого уровня доходов населения, экспорт такой продукции положительно скажется на экономических, экологических и социальных показателях страны. По мере роста уровня жизни населения и популяризации экологической осознанности в стране производители будут готовы удовлетворить растущий спрос населения.

Список использованных источников

1. Pretty, J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence / J. Pretty // *Philosophical Transactions of the Royal Society*. – 2008. – № 363 (1491). – P. 447–466.
2. Agriculture at a crossroads: The synthesis report / International Assessment of Agricultural Knowledge, science and Technology for Development (IAASTD). – URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7862> (date of access: 09.09.2023).
3. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture / D. Tilman Ch. Balzer, J. Hill, B. L. Befort // *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2011. – № 108. – DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
4. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050 / D. K. Ray, D. M. Nathaniel, P. C. West, J. A. Foley // *PLoS One*. – 2013. – № 8. – DOI: 10.1371/journal.pone.0066428.
5. Pardey, P. G. A bounds analysis of world food futures: Global agriculture through to 2050 / P. G. Pardey, J. M. Beddow, T. M. Hurley [et al.] // *Australian journal of agricultural and Resource Economics*. – 2014. – № 58. – P. 571–589.

6. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention // food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf> (date of access: 09.09.2023).
7. IFOAM: The Principles of Organic Agriculture / Wayback Machine.
8. Paull, John & Hennig, Benjamin (2016) Atlas of Organics: Four Maps of the World of Organic Agriculture / Wayback Machine Journal of Organics. 3(1): 25–32.
9. Principles of Organic Agriculture – IFOAM, Retrieved August 15, 2017 (date of access: 19.01.2018).
10. The World of Organic Agriculture 2019. FiBL and IFOAM (date of access: 15.03.2019).
11. Paull, J. Organic Agriculture in Australia: Attaining the Global Majority (51 %) / Wayback Machine // Journal of Environment Protection and Sustainable Development, 5(2):70-74. – 70–74 p.
12. Helga Willer, Julia Lernoud and Robert Home The World of Organic Agriculture: Statistics & Emerging Trends 2013 / Wayback Machine, Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) and the International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM, 2013).
13. Paull, J. The Uptake of Organic Agriculture: A Decade of Worldwide Development / Wayback Machine, Journal of Social and Development Sciences, 2 (3). – P. 111–120.
14. Paull, J. Nanomaterials in food and agriculture: The big issue of small matter for organic food and farming» / Wayback Machine, Proceedings of the Third Scientific Conference of ISOFAR (International Society of Organic Agriculture Research), 28 Sept. – 1 Oct., Namyangju, Korea, 2:96–99.
15. Mshp.gov.by : офиц. сайт Министерства сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь. – Минск, 2007–2024. – URL: <https://www.Mshp.gov.by> (дата обращения: 07.10.2024).
16. Цели устойчивого развития в Беларуси. – Минск, 2024. – URL: <https://www.Sdgs.by> (дата обращения: 07.10.2024).
17. Belal.by : сайт Белор. сельскохоз. библиотеки им. И. С. Лупиновича НАН Беларуси. – Минск, 2015–2024. – URL: <https://www.Belal.by> (дата обращения: 07.10.2024).
18. Инвестируй в Беларусь : сайт Нац. агентства инвестиций и приватизации Респ. Беларусь. – Минск, 2024. – URL: <https://www.Investinbelarus.by> (дата обращения: 07.10.2024).
19. Agrocultura.org. – URL: <https://www.Agrocultura.org> (дата обращения: 07.10.2024).
20. Lekomtsev, P. L. Hydrogasdynamics. Workshop: study guide / P. L. Lekomtsev, E. V. Dresvyannikov. – Izhevsk : FGBOU VPO Izhevsk State Agricultural Academy, 2013. – 45 p.
21. Abramovich, G. N. Applied gas dynamics. At 2 pm H 1: Proc. guide: For high schools. – 5th ed., rev. and add. – М. : Science. Ch. ed. physics and mathematics lit., 1991. – 600 p.
22. Akhmerov, Kh. Kh. Automated machine for thinning sugar beet seedlings / Kh. Kh. Akhmerov // Mechanization and electrification of agriculture: F, 1984. – № 7. – P. 19–26.
23. Balaeva, N. A. Theoretical foundations for creating a microclimate in a room [Text]: method. instructions / N. A. Balaeva, L. V. Arteeva. – Ukhta : USTU, 2012. – 28 p.
24. Avetisyan, R. D. Investigation of the stability of movement and controllability of cultivator units during inter-row cultivation of row crops on the slopes : author. dis. ... Cand. tech. Sciences : 05.20.01. – Yerevan, 1974. – 26 p.
25. Agriculture of the Republic of Belarus: statistical collection / National Statistical Committee of the Republic of Belarus. – Minsk, 2020. – 179 p.
26. Environmentally friendly technologies for the destruction of weeds in the protective zone of row crops. / V. P. Lutsenko, N. A. Tokarev, I. M. Sokolova, T. V. Nikitina // For the 95th anniversary of the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing. Vestn. RAAS, 2006 ; № 5. – P. 70–71.