

Системы интеллектуального менеджмента для цифрового земледелия. Часть 2

Н. Н. Бахтадзе^I, Е. М. Максимов^I, Н. Е. Максимова^I, Д. М. Дончан^I, Д. С. Кузнецов^{II},
Э. А. Захаров^{III}

^I Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

^{II} Национальный университет науки и технологий МИСиС, Москва, Россия

^{III} Московский физико-технический институт, Москва, Россия

Аннотация. В статье представлен подход к созданию информационных систем для цифрового земледелия, позволяющих на базе информационных технологий и интеллектуальных прогнозирующих моделей более рационально планировать использование земель, расходовать удобрения и горючее, что снижает себестоимость производимой продукции и повышает эффективность сельскохозяйственного производства. Кроме того, может быть достигнут долгосрочный агрономический и экологический эффект - за счет более бережной обработки почвы и уменьшения применения азотных удобрений. В первых разделах Части 2 этой статьи представлены методы прогнозирования уровня вегетации в зависимости от текущих значений ключевых показателей и параметров выбранного режима. Далее представлены результаты построения интеллектуальных идентификационных моделей прогнозирования цен на продукцию цифрового земледелия.

Ключевые слова: цифровое земледелие, мягкие датчики, прогнозирующие модели, управление знаниями.

DOI 10.14357/20718632200209

Введение

В рамках предложенного авторами цифрового подхода к управлению хозяйственной деятельностью сельхозпредприятий, представленного в Части 1 настоящей статьи, для поддержки принятия решений по управлению технологическими либо производственно-экономическими процессами, были разработаны методы создания прогнозирующих идентификационных моделей [1]. Методы предполагают осуществление интеллектуального анализа архивных и текущих данных, в результате которого формируются и пополняются индуктивные знания – закономерности, характеризующие исследуемый процесс.

В частности, в первой части были предложены модели прогнозирования урожайности зерновых культур в зависимости от текущей производственной ситуации, климатических условий, истории засева конкретных полей различными культурами и других факторов.

Рассмотрим также возможности определения других производственных показателей на основе анализа архивной и текущей информации. Одним из таких показателей является показатель уровня вегетации зерновых культур, позволяющий с высокой степенью точности определить начало и окончание периода вегетации.

Другой важнейший показатель – прогноз рыночной цены на производимую продукцию,

что необходимо для прогнозирования итоговой прибыли сельхозпредприятия в зависимости от разных сценариев управления производственным процессом, и в частности – от схемы внесения органических и минеральных удобрений.

1. Определение показателя уровня вегетации зерновых культур

1.1. Модель определения периода вегетации по данным дистанционного зондирования земли

Для средней полосы России характерны периоды бурного роста растений в теплое время года и периоды практического отсутствия зеленой массы растений в холодное время года. Периоды времени, подходящие для выращивания сельскохозяйственных культур, сильно разнятся для разных географических регионов страны. Для определения этих периодов времени предлагается метод моделирования периода вегетации для определенной географической области по анализу многолетних данных дистанционного зондирования земли в оптическом диапазоне.

Периоды активного роста растений и периоды отсутствия зеленой массы различимы на

гистограммах спутниковых снимков. Во время роста растений пик гистограммы «зеленого» канала намного сильнее смещен вправо относительно пика «синего канала», а при отсутствии растений пики практически совпадают. Данное свойство продемонстрировано на Рис. 1.

Введем показатель V — интенсивность вегетации, определенный на промежутке $[0,1]$, который показывает интенсивность «зеленой массы» в данном географическом регионе в выбранный момент времени в течение года.

$$V = \begin{cases} \frac{h_{зел} - h_{син}}{(h_{зел} - h_{син})_{max}} & h_{зел} > h_{син} \\ 0 & h_{зел} \leq h_{син} \end{cases}$$

где $h_{зел}$ — среднее за несколько лет значение зеленого пика гистограммы в рассматриваемый момент времени года, $h_{син}$ — среднее многолетнее значение синего пика гистограммы в рассматриваемый момент времени года. $(h_{зел} - h_{син})_{max}$ — максимальная разница в значении пиков гистограмм «зеленого» и «синего» каналов для всех моментов года. Пример сезонного изменения этого показателя представлен на Рис. 2.

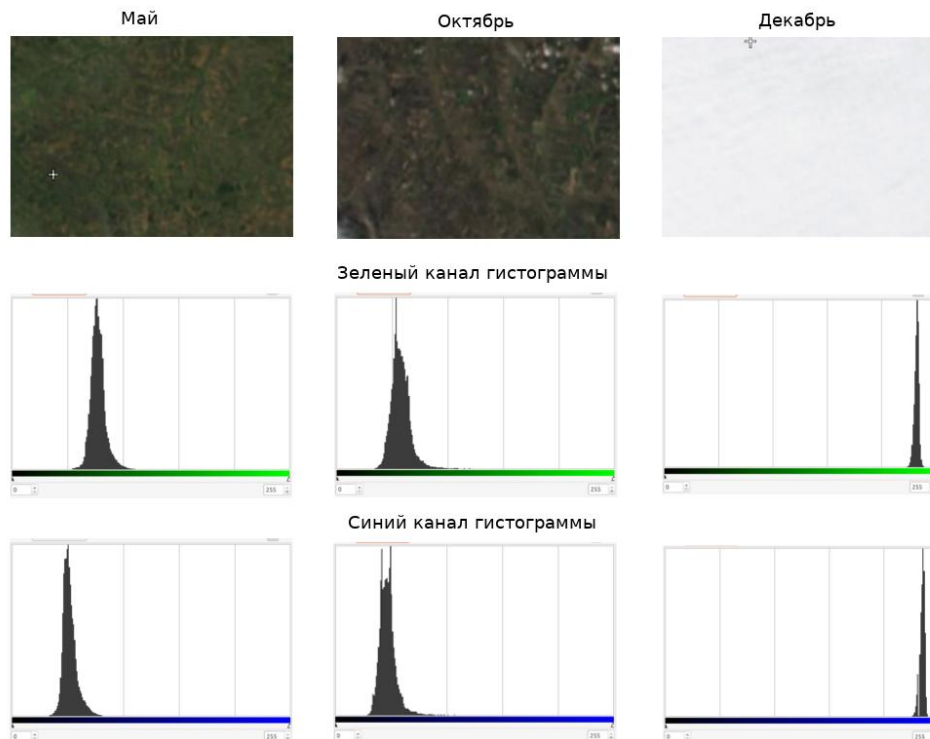


Рис. 1. Отличия гистограмм спутниковых снимков в зависимости от активности вегетации

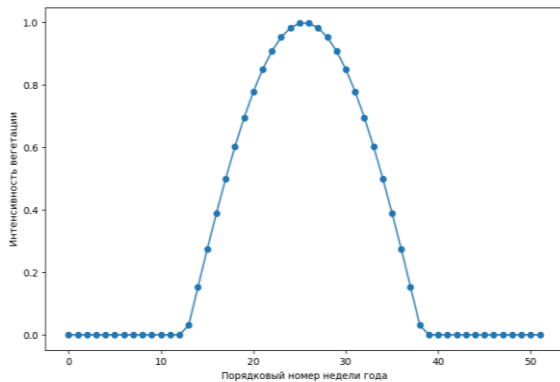


Рис. 2. Динамика интенсивности вегетации

Зная значения показателя интенсивности вегетации для различных географических местоположений, заданных широтой и долготой, можно построить оценку параметра интенсивности вегетации для интересующих географических координат. Схема изображена на Рис. 3.

Из базы, содержащей данные о показателе интенсивности вегетации и географические координаты местности, выбирается некоторое количество ближайших в географическом понимании точек, и соответствующих им параметров интенсивности вегетации. Для каждого

интересующего момента времени осуществляется прогноз параметра интенсивности вегетации по ближайшим соседним точкам с помощью алгоритма ассоциативного поиска [1], описание которого приведено в Части 1 статьи.

1.2. Применения прогноза интенсивности вегетации

1.2.1. Оценка безопасного периода выращивания культур в открытом грунте

По данным, хранящимся в архивах НИИ СХ, возможно провести исследования, по какому квантилю функции интенсивности вегетации проводится разграничение времени безопасного выращивания культур. Так, например, если для средней полосы России принято оценивать период безопасного выращивания культур промежутком с 10 июня по 10 сентября, то, наложив этот временной промежуток на график интенсивности вегетации в этом районе, можно оценить предельное значение параметра интенсивности вегетации безопасного периода выращивания. Проведя такую оценку для различных регионов России, можно сделать выводы о связи интенсивности вегетации и периода безопасного выращивания культур.

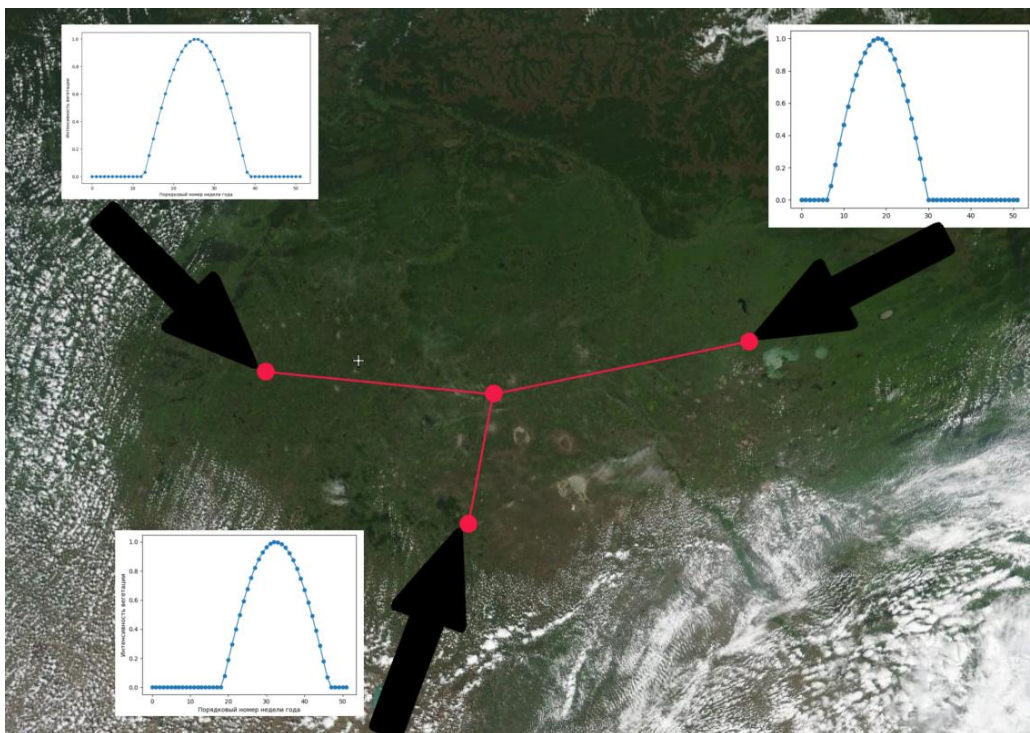


Рис. 3. Оценка значения параметра интенсивности вегетации

1.2.2. Определение оптимальной даты высадки культур

Длительности периодов роста и созревания различаются для разных культур, что позволяет оптимизировать дату высадки культур. Так, если длительность периода созревания культуры значительно меньше периода безопасного выращивания, то дату посадки можно сместить на более теплое время. Так как в теплое время метаболизм растений ускоряется, можно ожидать ускорение всего цикла роста и созревания.

1.2.3. Оценка пригодности региона для выращивания определенных культур

Для каждого географического района определена длительность безопасного выращивания культур. Соответственно, для различных культур с разной длительностью времени созревания возможно определить, подходит ли определенная культура для выращивания в данном географическом районе. Культура считается непригодной для выращивания, когда время, необходимое для полного цикла роста культуры, превышает период безопасного выращивания.

1.2.4. Оценка текущего значения интенсивности метаболизма культур

Значение параметра интенсивности вегетации можно с некоторой долей осторожности воспринимать как оценку интенсивности метаболических процессов в растениях в данный момент времени. Это может быть полезным при определении времени внесения и массы внесенных удобрений. Так как скорость и интенсивность усвоения удобрений растениями зависит от интенсивности метаболизма, появляется возможность оптимизации режима внесения удобрений.

2. Модели ценообразования на продукцию регионального рынка зерна

Применение удобрений – как минеральных, так и органических – является неотъемлемой частью современного растениеводства, в том числе, выращивания злаков. Удобрения позволяют насытить почву питательными веществами, необходимыми растениям для роста, и получить урожай нужного качества.

Однако использование удобрений сопряжено с негативным воздействием на окружающую среду. К примеру, в работе [2] приводятся результаты многочисленных исследований, показывающих, что минеральные удобрения, попадающие в почву, приводят к высвобождению CO_2 и N_2O – парниковых газов, являющихся основной причиной глобального потепления. К тому же, применение азотных удобрений влечёт за собой ускоренное закисление почв.

В работе [3] отмечено негативное влияние минеральных удобрений на состояние почв, а также грунтовых и поверхностных вод. Авторы указывают, что органические удобрения, несмотря на их природное происхождение, также не вполне экологичны (environmentally friendly), так как содержат в своём составе тяжёлые металлы, накапливающиеся в почве.

Очевидно, что полностью отказаться от использования удобрений невозможно, так как это приведёт к снижению объёмов получаемого урожая и будет угрожать мировой продовольственной безопасности. Необходимо найти способ более экономичного, но вместе с тем, эффективного применения удобрений. В работе [4] предлагается проведение предварительного анализа характеристик почвы – с тем, чтобы подобрать для неё наиболее подходящие удобрения. Также рекомендуется вносить удобрения с учётом погодных условий – к примеру, избегать их применения в период обильных осадков.

В Части 1 данной статьи для системы поддержки принятия решений по управлению производственным процессом была представлена методика формирования рекомендаций по внесению удобрений на основе интеллектуальных прогнозирующих моделей, при соблюдении которых фермер мог бы получить максимальную прибыль. В этой части статьи представлен модуль прогнозирования рыночной цены на производимую продукцию, необходимый для прогнозирования в системе итоговой прибыли сельхозпредприятия.

2.1. Постановка задачи прогнозирования цены

Несмотря на то, что прогнозированием цен на пшеницу занимается большое число организаций, включая государственные структуры и аналитические агентства, разработка новых

подходов к решению этой задачи не потеряла актуальность. В данной работе мы представим разработку прогнозирующих моделей для отдельно взятого субъекта Российской Федерации на примере Орловской области.

На Рис. 4. представлен график изменения среднемесячной цены, по которой реализовывали пшеницу сельхозпроизводители Орловской области с января 1999 г. по декабрь 2019 г. (источник данных – Росстат [5]). Из графика видно, что цены на пшеницу существенно волатильны. К примеру, цена в марте 2019 г. превышала цену в январе 2018 г. более чем в два раза.

В Табл. 1 приведены среднемесячные цены на пшеницу в шести зернопроизводящих регионах Центрального федерального округа за июль 2019 г. Средняя цена по РФ за этот период составила 10 409,95 руб./т [5]. Таким образом, разница в цене даже между регионами, имеющими общую границу, может достигать 20%. В таких условиях производителям из конкретного региона нецелесообразно ориентироваться на цену у соседей или среднюю по стра-

не, а желательно иметь прогноз, учитывающий местную специфику.

Важным параметром, который необходимо определить для постановки задачи, является горизонт прогнозирования.

Долгосрочный прогноз традиционными методами редко может быть получен с точностью, устраивающей сельхозпроизводителей. К примеру, на Рис. 5 приведены графики средних цен на пшеницу за сезон. Прогнозные значения взяты из сценарного прогноза, составленного Аналитическим центром при Правительстве РФ [6], фактические цены рассчитаны по данным Росстата. Видно, что реальные изменения цены бывают довольно резкими и существенными, в отличие от плавных изменений прогноза.

Для сельхозпроизводителей наибольший интерес представляет возможность получить весной, когда начинаются сев яровых и подкормка озимых, прогноз цены на конец лета, когда начнутся активные продажи полученного урожая. Задача получения такого прогноза цены пшеницы в конкретном субъекте федерации до настоящего момента решена не была.

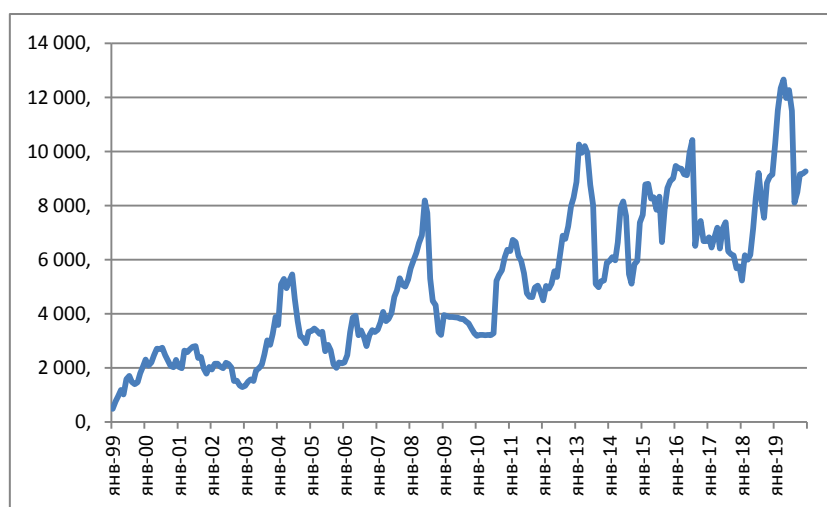


Рис. 4. Среднемесячная цена реализации пшеницы сельхозпроизводителями в Орловской обл., руб./т

Табл. 1. Среднемесячная цена на пшеницу в июле 2019 г.

Регион	Цена, руб./т
Белгородская область	9805,30
Воронежская область	10678,51
Курская область	10726,43
Липецкая область	11435,88
Орловская область	11497,26
Тамбовская область	9519,71

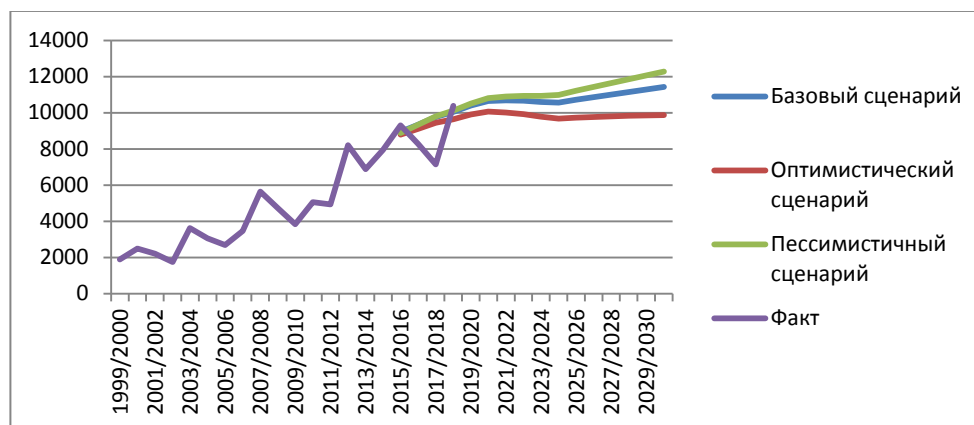


Рис. 5. Средняя цена на пшеницу за сезон в РФ, руб./т

2.2. Методы прогнозирования цен на сельскохозяйственную продукцию

Исследование зарубежных работ, посвящённых прогнозированию локальных цен на сельхозпродукцию, выявило выраженную местную специфику формирования цены и отличие от условий, в которых работают российские сельхозпроизводители. Так, работа [7] посвящена решению задачи ценового прогнозирования для северных штатов США. Исторически сложилось, что в Северной Америке в качестве ориентира цен на злаки служат цены соответствующих фьючерсных контрактов, а для сельхозпроизводителей важным является так называемый базис – разница между фьючерсной ценой и ценой фактической реализации. Если эта разница растёт, считается, что ситуация на рынке неблагоприятна для продавца, если же она уменьшается – это удачный момент для реализации зерна. Анализ моделей прогнозирования ценового базиса приведён в работе [8].

Объёмы биржевой торговли зерном в России в настоящее время несопоставимо малы по сравнению с аналогичными показателями зарубежных биржевых площадок. Поэтому отечественные сельхозпроизводители пока не ориентируются на цены соответствующих контрактов. Таким образом, модели для прогнозирования ценового базиса для российских условий неприменимы.

В государствах Южной и Юго-Восточной Азии, где благодаря климату, период, благоприятный для выращивания сельхозпродукции, дольше, чем в России, производители имеют воз-

можность варьировать, какие культуры и когда они будут высаживать. Прогнозирующие модели, разработанные для отдельных регионов Индии [9], встраиваются в системы поддержки принятия решений для сельхозпроизводителей. Подобные системы позволяют им выбирать наиболее подходящую культуру для сева, а также время посадки с тем, чтобы максимально сократить время созревания урожая либо вырастить урожай с минимальными затратами. В России же период созревания злаков ограничен ввиду природно-климатических условий, а возможности варьировать высаживаемые культуры определяются правилами севооборота. Соответственно, у отечественных сельхозпроизводителей нет ни возможности отложить время посадки, ни быстро поменять высаживаемую культуру в случае, если для неё складывается неблагоприятная ценовая конъюнктура. Их интересует прогноз цены именно на ту культуру, которая будет высажена согласно графику севооборота, для того, чтобы планировать показатели своей деятельности.

Для прогнозирования цен на сельхозпродукцию широкое распространение получили регрессионные модели [10]; другой распространённый подход – различные методы интеллектуального анализа данных (Data Mining) [11]. В работе [12] результаты прогноза, полученного авторами на основе выявленных паттернов, сравниваются с прогнозом, полученным с помощью модели ARIMA, – не в пользу последнего. Таким образом, показано преимущество интеллектуального анализа данных, так имеется возможность учесть влияние большого

числа факторов различной природы на цену. Выбор этих факторов, особенно тех из них, которые позволили бы учесть именно региональную специфику формирования цен на пшеницу, представляет собой отдельную важную задачу.

2.3. Факторы цены на пшеницу

В бюллетене [13] приведены основополагающие факторы, формирующие цену на пшеницу. Они делятся на факторы спроса (объём использования зерна для производства продуктов питания и в других отраслях промышленности, на семенной материал, корм для скота, объём экспорта и переходящих запасов) и предложения (объём запасов предыдущих периодов, импорта и производства; последний, в свою очередь, определяется площадью посевов и урожайностью). Исследованию зависимости цен на пшеницу от баланса спроса и предложения с учётом региональных особенностей посвящена и работа [14]. При этом авторы отмечают, что прогноз цены, составленный на основе баланса ресурсов, получается недостаточно точным.

В работе [15] анализируются различные параметры, способные повлиять на цену пшеницы, и динамика их значений в основных зернопроизводящих регионах мира. На примере нескольких регионов отмечено, что несмотря на снижающийся объём осадков, урожайность и объём экспорта растут, а среди факторов, на которые стоит обратить внимание, выделены цены на пшеницу за предыдущие периоды, цены на нефть и объём запасов продовольственных ресурсов. Высокая корреляция между ценой на пшеницу и ценой на нефть, а также колебаниями курсов валют отмечена и в работе [16].

Авторы работы [17] помимо изменения баланса спроса и предложения, а также колебаний нефтяных цен и курсов валют среди факторов, влияющих на цены сельскохозяйственной продукции, выделяют биржевые спекуляции. Резко возросшая активность трейдеров на Чикагской товарной бирже (Chicago Mercantile Exchange) в 2008 г. и её влияние на фьючерсные цены пшеницы даже стала предметом расследования Сената США. В отчёте [18] было показано, что высокие цены на фьючерсы, поддерживавшиеся с помощью спекуляций, привели к существенному разрыву между фьючерсными ценами и локальными ценами продажи, тем самым бы-

ли созданы дискриминационные условия для производителей, которые реализовывали пшеницу на локальном рынке.

2.4. Формирование локальных цен

Учитывая ценовую дифференциацию между регионами (Табл. 1), необходимо определить, как формируется цена на пшеницу именно на локальном рынке, и какие факторы влияют на неё в большей степени.

В работе [17] в отсутствие отечественного биржевого рынка зерна отмечена высокая корреляция локальных цен на пшеницу с ценами СВOT (Chicago Board of Trading). Кстати, это можно наблюдать и на Рис. 6: тот самый пик фьючерсных цен в 2008 г., который явился предметом расследования [18], отразился и на ценах в Орловской области. Также авторы указывают на то, что производители из регионов, удалённых от экспортных каналов, вынуждены продавать урожай по более низкой цене, по сравнению с регионами, близкими к экспортным портам. Авторы работы [19] отмечают, что удалённость основных регионов-производителей пшеницы от регионов-обладателей потребителей также приводит к снижению цены для фермеров. К тому же, производители не актуальной информацией о ценах в других регионах и не могут на них ориентироваться.

Прогнозный модуль, реализованный на основе модели, построенной с помощью алгоритмов ассоциативного поиска [1], может быть использован для решения различных задач в Системе поддержки принятия решений по управлению производственным процессом сельхозпредприятия. Пример такой модели приведён на Рис. 6.

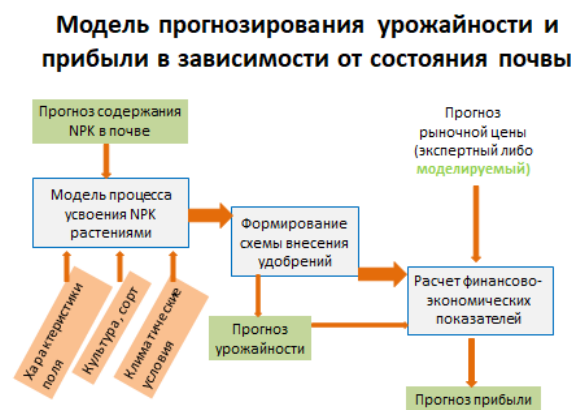


Рис. 6. Модель прогнозирования урожайности и прибыли в зависимости от состояния почвы

Здесь на основе прогноза значений содержания питательных веществ в почве на начало сезона с учётом характеристик поля и климатической зоны, в которой оно расположено, формируется схема внесения удобрений, необходимых для достижения нужной концентрации питательных веществ в почве. Далее производится расчёт финансово-экономических показателей, расходная часть которых формируется с учётом затрат по схеме внесения удобрений, а доходная – с учётом прогноза урожайности и прогноза рыночной цены, составленного по предложенной в настоящей статье модели. В результате получается прогноз прибыли, которую сельхозпроизводитель может получить по итогам сезона.

Схема внесения удобрений формируется следующим образом. На основе данных, полученных от различных хозяйств, о видах и количестве применявшихся ими удобрений и сроках их внесения определяются виды удобрений, являющиеся наиболее эффективными для выращивания пшеницы на полях с определёнными характеристиками в определённой климатической зоне. Далее с учётом особенностей усвое-

ния растениями питательных веществ на данном поле формируются схемы внесения удобрений (вид, количество и сроки) для получения разных уровней урожайности.

Полученная схема поможет избежать нерационального расходования удобрений. С экономической точки зрения, это позволит фермерам сократить затраты и с помощью прогноза цены получить ожидаемый финансовый итог сезона. А с экологической точки зрения – внесение именно тех удобрений, в то время и в том количестве, в котором они необходимы, будет способствовать более эффективному усвоению растениями питательных веществ. Соответственно, меньшее количество удобрений будет оставаться в почве или вымываться с осадками.

2.5. Результаты моделирования

2.5.1. Используемые статистические данные

В Табл. 2 представлены данные о производстве и реализации пшеницы, статистический анализ которых позволил построить идентификационные модели посредством алгоритма ассоциативного поиска.

Табл. 2. Данные о производстве и реализации пшеницы и их источники (начало)

Источник	Показатель	Периодичность	Временной диапазон
Росстат	Средняя цена реализации пшеницы производителями (всего, в т. ч. по классам, в РФ и субъектах федерации)	Ежемесячно	С 1999 г.
Росстат	Средняя цена приобретения зерна промышленными организациями (всего, по классам, направлениям использования, в РФ и субъектах федерации)	Ежемесячно	С 2002 г.
Росстат	Средние цены на приобретаемые сельхозпроизводителями товары и услуги (в РФ и субъектах федерации)	Ежегодно	С 2002 г.
Росстат	Валовой сбор зерна (пшеница всего, в т. ч. озимая и яровая, по категориям хозяйств, по субъектам федерации)	Ежегодно	С 1990 г.
Росстат	Урожайность (в целом по РФ)	Ежегодно	С 1990 г.
Минсельхоз России	Средняя цена реализации зерна без НДС (по классам, в РФ и федеральных округах)	Еженедельно	С 2017 г.
Минсельхоз России	Цена FOB в порту Новороссийск	Еженедельно	С 2017 г.
Минсельхоз России	Объем зерна федерального интервенционного фонда	Еженедельно	С 2017 г.
Минсельхоз России	Суммарный объем биржевых сделок реализации зерна из запасов федерального интервенционного фонда	Еженедельно	С 2017 г.
Бизнес-газета «АгроНовости»	Цены на мельницах и элеваторах в отдельных субъектах федерации (по классам)	Еженедельно	С июля 2008 г.

Табл. 2. Данные о производстве и реализации пшеницы и их источники (продолжение)

Источник	Показатель	Периодичность	Временной диапазон
Национальная торговая биржа	Средние форвардные цены контрактов с поставкой не позднее чем через 4 месяца	Ежедневно	С декабря 2015 г.
Всемирный банк	Средняя цена реализации пшеницы на экспорт в Мексиканском заливе	Ежемесячно	Твёрдая пшеница – с 1960 г., мягкая – с 1979 г.
Barchart.com Inc.	Фьючерсные цены контрактов, торгуемых на площадке Чикагской торговой палаты, с поставкой не позднее чем через 1,5 года (цена открытия и закрытия торгов, максимальная и минимальная за день)	Ежедневно	С сентября 1969 г.
Федеральная таможенная служба	Объём экспорта зерна в натуральном и денежном выражении	Ежемесячно с 08.2011 по 12.2016, за 2017-2019 гг. – годовые объёмы и данные за некоторые месяцы	С августа 2011 г.

2.5.2. Модели прогнозирования цены на пшеницу

Прогнозирование осуществлялось для Орловской области на несколько месяцев вперед

По результатам статистического анализа, факторами, в наибольшей степени влияющими на прогноз цены, оказались: внутренняя динамика самой цены на пшеницу, цены на фьючерсы в Мексиканском заливе и цены в порту Новороссийска.

2.5.2.1. Прогнозирование цены на август

При прогнозировании цены на август текущего года использовались данные за март месяц и более ранние. То есть, как только становятся известны данные за март месяц текущего года, может быть построен прогноз цены на август текущего года.

Результат работы модели представлен на Рис. 7. Коэффициент множественной корреляции (КМК) данной модели – 0,93, что говорит о достаточно высокой ее точности.

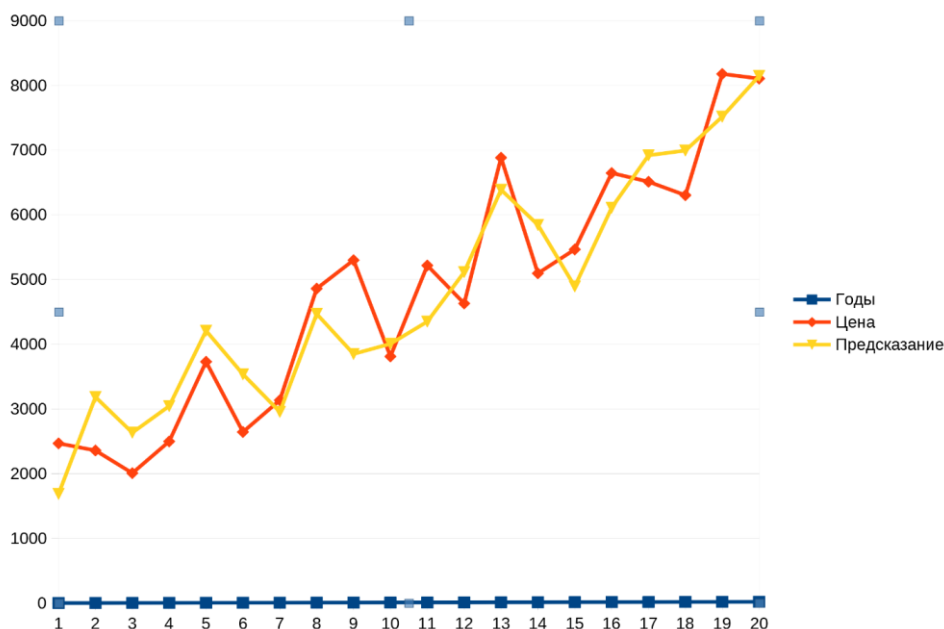


Рис.7. Прогнозирование цены на пшеницу по данным за март и более ранние месяцы, по оси абсцисс – Годы, по данным которых строился прогноз, по оси ординат: Цена – средняя цена на пшеницу в августе по Орловской обл., Предсказание – предсказание этой цены по данным за март и ранее

2.5.2.2. Прогнозирование цен на декабрь

При прогнозировании цены на декабрь текущего года использовались данные за август месяц и более ранние. То есть, как только становятся известны данные за август текущего года, может быть построен прогноз цены на декабрь текущего года.

Результат работы модели представлен на Рис. 8. Коэффициент множественной корреляции (КМК) данной модели – 0.95, что говорит о достаточно высокой ее точности.

2.5.2.3. Прогнозирование цен на март

При прогнозировании цены на март использовались данные за сентябрь месяц предыдущего года и более ранние. То есть, как только становятся известны данные за сентябрь месяц текущего года, может быть построен прогноз цены на март следующего года.

Результат работы модели представлен на Рис.9. Коэффициент множественной корреляции (КМК) данной модели – 0.97, что говорит о высокой ее точности.

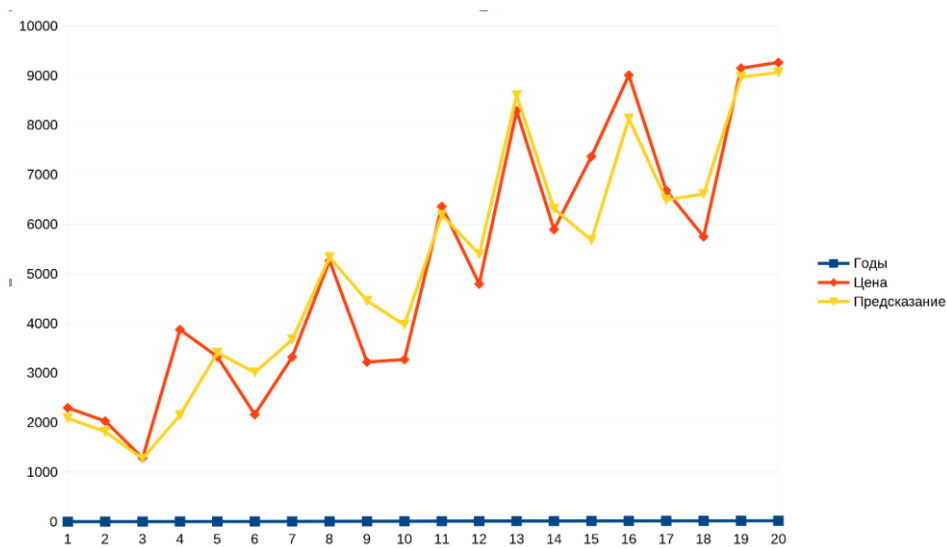


Рис. 8. Прогнозирование цены на пшеницу на декабрь по данным за август и более ранние месяцы

по оси абсцисс – годы, по данным которых строился прогноз, по оси ординат: Цена – средняя цена на пшеницу в декабре по Орловской обл., Предсказание – предсказание этой цены по данным за август и ранее

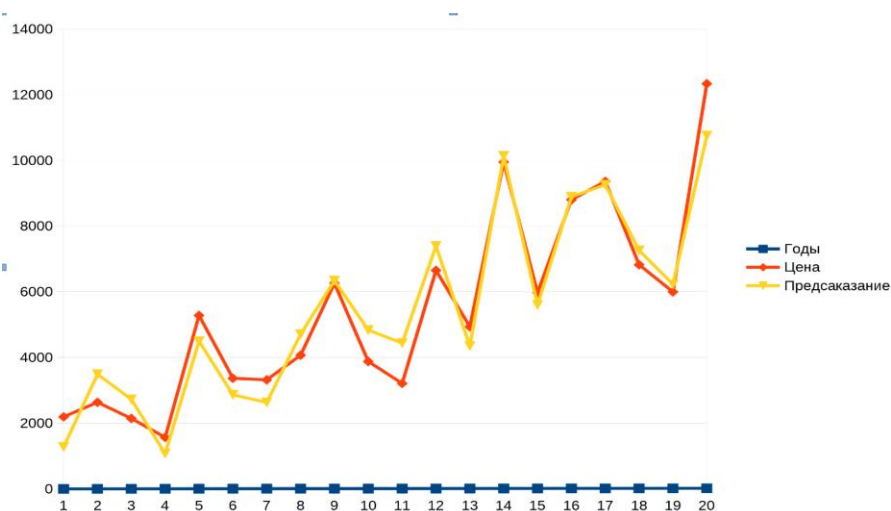


Рис. 9. Прогнозирование цены на пшеницу на март по данным за сентябрь предыдущего года и более ранние месяцы по оси абсцисс – годы, по данным которых и для которых строился прогноз, на оси ординат: Цена – средняя цена на пшеницу в марте месяце по Орловской обл., Предсказание осуществлялось по данным за сентябрь предыдущего года и ранее

Анализ различных моделей показал, что точность моделей практически не меняется при использовании различных укороченных выборок наблюдений.

Заключение

В статье представлены результаты анализа существующих методов прогнозирования рыночной цены на сельхозпродукцию и предложены интеллектуальные методы прогнозирования, основанные на извлечении знаний (knowledge discovery) посредством методов интеллектуального анализа данных (Data Mining). Приведены результаты моделирования для отдельно взятого субъекта Российской Федерации – Орловской области.

В системе поддержки принятия решений по управлению производственным процессом модуль прогнозирования рыночной цены на производимую продукцию необходим для прогнозирования итоговой прибыли сельхозпредприятия.

Также представлены результаты исследований по определению на основе анализа архивной и текущей информации еще одного производственного показателя - уровня вегетации зерновых культур, позволяющего с высокой степенью точности определить начало и окончание периода вегетации.

Литература

1. Bakhtadze, N., Maximov, E., Donchan, D., Maximova, N.E., Kozlovskaya, L., 2019. INNOVATION AND KNOWLEDGE MANAGEMENT IN PRECISION FARMING / Proceedings of the 12th IADIS International Conference on Information Systems (Utrecht, Netherlands, 2019). Utrecht, Netherlands: International Association for Development of the Information Society. 2019. Pp. 265-270.
2. Basosi, R., Spinelli, D., Fierro, A., Jez S. Mineral nitrogen fertilizers: environmental impact of production and use // *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 129. Pp. 302-308. DOI:10.1016/j.jenvman.2013.07.029
3. Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K. and Alamri, S.A. Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater // *The Encyclopedia of the Anthropocene*. 2018. Vol. 5. P. 225-240. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2
4. Serpil, S. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment // *Proceedings of International Conference on Environmental Science and Development (ICESD 2012)*. Hong Kong, 2012. P. 287–292. DOI: 10.1016/j.apcbee.2012.03.047
5. Федеральная служба государственной статистики (РОССТАТ) URL: <https://gks.ru/price>
6. Сценарный прогноз развития зернового рынка России. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. 58 с.
7. Bekkerman, A., Brester, G.W. and Taylor, M. Forecasting a Moving Target: The Roles of Quality and Timing for Determining Northern U.S. Wheat Basis // *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2016. Vol. 41, No. 1. Pp. 25-41.
8. Jiang, B. Corn and soybean basis behavior and forecasting: fundamental and alternative approaches: diss. of Ph.D. / Ames, Iowa: Iowa State University, 1997. 157p. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/12214>
9. Rajeswari, S., Suthendran, K. Developing an Agricultural Product Price Prediction Model using HADT Algorithm // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 9, iss. 1S4. – Pp. 569-575.
10. Ruekksaem, L., Sasananan, M. Forecasting agricultural products prices using time series methods for crop planning // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9, iss. 7. Pp. 957–971.
11. Varun, R, Neema, N., Sahana, H.P., Sathvik, A., Muddasir, A. Agriculture Commodity Price Forecasting using MI Techniques // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 9, iss. 2S. P. 729-732.
12. Kantanantha, N., Serban, N., and Griffin, P. Yield and Price Forecasting for Stochastic Crop Decision Planning // *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 2010. Vol. 15, No. 3. P. 362-380. DOI: 10.1007/s13253-010-0025-7
13. Westcott, P.C. and Hoffman, L.A. Price Determination for Corn and Wheat: The Role of Market Factors and Government Programs / Market and Trade Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1878. 1999. 30 p.
14. Кораблева А.А., Чупин Р.И., Харламова М.С. Оценка влияния факторов баланса ресурсов и использования зерна на цену пшеницы в регионах России // *Вестник Пермского университета. Серия: Экономика*. 2018. Т. 13, № 4. Сс. 532-548.
15. Enghiad, A., Ufer, D., Countryman, A.M., and Thilmany, D.D. An Overview of Global Wheat Market Fundamentals in an Era of Climate Concerns // *International Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 2017. – Pp. 1-15.
16. Gyarmati, G. On what Factors the Wheat Production and Price Depends // *Management, Enterprise and Benchmarking in the 21st Century*. Budapest, 2017. Pp. 78-96.
17. Borychowski, M. Czyżewski, A. Determinants of prices increase of agricultural commodities in a global context // *Management*. 2015. Vol. 19, iss. 2. Pp. 152-167.
18. Levin, C., Coburn, T. Excessive speculation in the wheat market / United States Senate Permanent Subcommittee on Investigations. 2009. 174 p.
19. Рылько Д.Н., Колинко О.Н., Башкирова В.Г. Российский экспорт пшеницы: экономические аспекты. М.: ИМЭМО РАН, 2014. 72 с.
20. Svanidze, M., Gotz, L. Determinants of spatial market efficiency of grain markets in Russia // *Food Policy*. 2019. Vol. 89. P. 60-68. DOI: 10.1016/j.foodpol.2019.101769.

Бахтадзе Наталья Николаевна. Заведующий лабораторией Института проблем управления РАН, Москва. Доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: более 250. Область научных интересов: идентификация систем управления, адаптивное управление, интеллектуальный анализ данных, управление знаниями, управление производственными процессами. E-mail: sung7@yandex.ru

Максимов Евгений Михайлович. Старший научный сотрудник Института проблем управления РАН. Количество печатных работ: более 100 (в т. ч. 2 монографии). Область научных интересов: идентификация систем управления, адаптивное управление, интеллектуальный анализ данных, управление знаниями, управление производственными процессами. E-mail: maxfone@yandex.ru

Максимова Наталья Евгеньевна. Ведущий инженер Института проблем управления РАН. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 20. Область научных интересов: идентификация систем управления, адаптивное управление, интеллектуальный анализ данных, управление знаниями, управление производственными процессами. E-mail: natalya_maximova@mail.ru

Дончан Данила Михайлович. Научный сотрудник Института проблем управления РАН. Количество печатных работ: 15. Область научных интересов: идентификация систем управления, адаптивное управление, интеллектуальный анализ данных, управление знаниями, управление производственными процессами. E-mail: donchan@yandex.ru

Кузнецов Денис Сергеевич. Ученый секретарь кафедры бизнес-информатики НИТУ МИСиС. Количество печатных работ: 3. Область научных интересов: идентификация систем управления, управление бизнес-процессами, управление ресурсами производственных процессов. E-mail: sined170495@yandex.ru

Захаров Эдуард Александрович. Московский физико-технический институт. Научный сотрудник. Количество печатных работ: 4. Область научных интересов: теория управления, идентификация, компьютерное моделирование. E-mail: eddyzaharov@gmail.com

Intelligent Management Systems for Digital Farming. Part 2

N. Bakhtadze, E. Maximov, N. Maximoval, D. Donchan, D. Kuznetsov, E. Zakharov

¹V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

²National University of Science and Technologies MUST MISIS

³Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia

Abstract. The article presents an approach to the creation of information systems for digital farming, which allows more rational planning of land use, the use of fertilizers and fuel based on information technologies and intelligent forecasting models, which reduces the cost of production and increases the efficiency of agricultural production. In addition, a long-term agronomic and environmental effect can be achieved due to more gentle tillage and a decrease in the use of nitrogen fertilizers. The first sections of Part 2 of this article present methods for predicting the level of vegetation depending on the current values of key indicators and parameters of the selected mode. The following are the results of constructing intelligent identification models for forecasting prices for digital agricultural products.

Keywords: digital farming, soft sensors, predictive models, knowledge management.

DOI 10.14357/20718632200209

References

1. Bakhtadze, N., Maximov, E., Donchan, D., Maximoval, N.E., Kozlovskaya, L., 2019. Innovation and knowledge management in precision farming / Proceedings of the 12th IADIS International Conference on Information Systems (Utrecht, Netherlands, 2019). Utrecht, Netherlands: International Association for Development of the Information Society. 2019. Pp. 265-270.
2. Basosi, R., Spinelli, D., Fierro, A., Jez S. Mineral nitrogen fertilizers: environmental impact of production and use // Journal of Environmental Management. 2013. Vol. 129. Pp. 302-308. DOI:10.1016/j.jenvman.2013.07.029
3. Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K. and Alamri, S.A. Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater // The Encyclopedia of the Anthropocene. 2018. Vol. 5. P. 225-240. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09888-2
4. Serpil, S. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment // Proceedings of International Confer-

- ence on Environmental Science and Development (ICESD 2012). Hong Kong, 2012. P. 287 – 292. DOI: 10.1016/j.apcbee.2012.03.047
5. Federal State Statistics Service (ROSSTAT) URL: <https://gks.ru/price>
 6. Scenario forecast of the grain market of Russia. Analytical Center under the Government of the Russian Federation, 2016. 58 p. Bekkerman, A., Brester, G.W. and Taylor, M. Forecasting a Moving Target: The Roles of Quality and Timing for Determining Northern U.S. Wheat Basis // Journal of Agricultural and Resource Economics. 2016. Vol. 41, No. 1. Pp. 25-41.
 7. Bekkerman, A., Brester, G.W. and Taylor, M. Forecasting a Moving Target: The Roles of Quality and Timing for Determining Northern U.S. Wheat Basis // Journal of Agricultural and Resource Economics. 2016. Vol. 41, No. 1. Pp. 25-41.
 8. Jiang, B. Corn and soybean basis behavior and forecasting: fundamental and alternative approaches: diss. of Ph.D. / Ames, Iowa: Iowa State University, 1997. 157p. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/12214>
 9. Rajeswari, S., Suthendran, K. Developing an Agricultural Product Price Prediction Model using HADT Algorithm // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. Vol. 9, iss. 1S4. – Pp. 569-575.
 10. Ruekkasaem, L., Sasananan, M. Forecasting agricultural products prices using time series methods for crop planning // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Vol. 9, iss. 7. Pp. 957–971.
 11. Varun, R, Neema, N., Sahana, H.P., Sathvik, A., Muddasir, A. Agriculture Commodity Price Forecasting using MI Techniques // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 9, iss. 2S. P. 729-732.
 12. Kantanatha, N., Serban, N., and Grin, P. Yield and Price Forecasting for Stochastic Crop Decision Planning // Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics. 2010. Vol. 15, No. 3. P. 362-380. DOI: 10.1007/s13253-010-0025-7
 13. Westcott, P.C. and Hoffman, L.A. Price Determination for Corn and Wheat: The Role of Market Factors and Government Programs / Market and Trade Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1878. 1999. 30 p.
 14. Korableva A.A., Chupin R.I., Kharlamova M.S. Influence Evaluation of the resources balance factors of and the grain use on the price of wheat in the regions of Russia // Bulletin of Perm University. Series: Economics. 2018. Vol. 13, No. 4. Cc. 532-548. Enghiad, A., Ufer, D., Countryman, A.M., and Thilmany, D.D. An Overview of Global Wheat Market Fundamentals in an Era of Climate Concerns // International Journal of Agronomy. 2017. Vol. 2017. – Pp. 1-15.
 15. Enghiad, A., Ufer, D., Countryman, A.M., and Thilmany, D.D. An Overview of Global Wheat Market Fundamentals in an Era of Climate Concerns // International Journal of Agronomy. 2017. Vol. 2017. – Pp. 1-15.
 16. Gyarmati, G. On what Factors the Wheat Production and Price Depends // Management, Enterprise and Benchmarking in the 21st Century. Budapest, 2017. Pp. 78-96.
 17. Borychowski, M., Czyżewski, A. Determinants of prices increase of agricultural commodities in a global context // Management. 2015. Vol. 19, iss. 2. Pp. 152-167.
 18. Levin, C., Coburn, T. Excessive speculation in the wheat market / United States Senate Permanent Subcommittee on Investigations. 2009. 174 p.
 19. Rylko D.N., Kolinko O.N., Bashkirova V.G. Russian wheat exports: economic aspects. M.: IMEMO RAS, 2014. 72 p.
 20. Svanidze, M., Gotz, L. Determinants of spatial market efficiency of grain markets in Russia // Food Policy. 2019. Vol. 89. P. 60-68. DOI: 10.1016/j.foodpol.2019.101769.

Bakhtadze N. N. Professor, Head of Identification laboratory of V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of Russian Academy of Science, 65 Profsoyuznaya str., Moscow, Russia sung7@yandex.ru. In 1979, he graduated from the Moscow State Institute of Electronics and Mathematics. Author of over 250 scientific papers. Research interests: control systems identification, adaptive control, data mining, knowledge management, production process control.

Maximov E.M. PhD, Senior Researcher of V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of Russian Academy of Science, 65 Profsoyuznaya str., Moscow, Russia. In 1975, he graduated from the Moscow State Institute of Electronics and Mathematics. Author of over 100 scientific papers. Research interests: control systems identification, adaptive control, data mining, knowledge management, production process control.

Maximova N.E. PhD, chief engineer of V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of Russian Academy of Science, 65 Profsoyuznaya str., Moscow, Russia. In 2005, she graduated from the Moscow State Institute of Electronics and Mathematics. Author of 20 scientific papers. Research interests: control systems identification, adaptive control, data mining, knowledge management, production process control.

Donchan D.E. Research assistant of V.A. Trapeznikov Institute of Control Science of Russian Academy of Science, 65 Profsoyuznaya str., Moscow, Russia.

Kuznetsov D.S. Scientific Secretary of the Department of Business Informatics National University of Science and Technologies NUST MISIS, Moscow, Leninsky Prospect, 4. In 2016, he graduated from NITU MISiS. The author of 3 scientific papers. Research interests: control system identification, business process management, resource management of production processes.

Zakharov E. A. Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia. Researcher. Number of publications: 4. Research interests: system control theory, identification, computer modeling.