

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Е. В. Бутрова, В. И. Меденников,
Т. В. Кокуйцева, Д. В. Ковков

В настоящее время уровень развития информационно-коммуникационных технологий дал толчок развитию особых информационных систем, позволяющих осуществлять сбор, хранение, обработку, отображение пространственных данных и получивших название геоинформационных систем, которые сегодня активно применяются в различных отраслях народного хозяйства. Одна из наиболее перспективных сфер их применения – сельское хозяйство, что обуславливает актуальность тематики исследования. Авторы статьи рассматривают различные сферы и опыт применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве, комплексный подход к применению технологий точного земледелия в сельском хозяйстве, а также мировые тенденции к интеграции информационных ресурсов. Наибольший интерес представляет модель синтеза оптимальных информационных систем (цифровых платформ), цифровая платформа применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве и научные основы достижения ее целей, рассматриваемые в статье.

Ключевые слова: геоинформационные системы, сельское хозяйство, цифровая платформа, тенденции, применение ГИС.

Введение

Уровень развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) дал толчок развитию особых информационных систем (ИС), позволяющих осуществлять сбор, хранение, обработку, отображение пространственных данных и получивших название геоинформационных систем (ГИС). Пространственная информация, отображающая положение с различными характеристиками некоторого объекта, события на карте (аналоге карты), занимает значительную долю всех данных (около 80 – 90 %). В силу этого ГИС-технологии сразу нашли широкое распространение во многих отраслях экономики, например в строительстве, а также в МЧС, Министерстве обороны, в различных государственных кадастрах и регистрах. Не осталось в стороне от данной тенденции и сельское хозяйство во всем мире в силу пространственно-временного характера своей деятельности, соответственно, отраженной в используемой информации.

Сегодня в промышленно развитых странах индустриализация сельского хозяйства потребовала внедрения самых современных информационно-телекоммуникационных технологий не только в сферу управления, но и в сельскохозяйственную технику, практически во все производственные и вспомогательные технологии. Всеобъемлющее проникновение ИКТ в общественное развитие получило название цифровой экономики (ЦЭ). Цифровизация аграрно-промышленного комплекса (АПК), как и всей общественной жизни страны, нуждается в теоретическом осмыслении данного процесса, обобщении достигнутых результатов с целью выработки принципиально новых подходов к использованию открывшихся возможностей, особенно в сфере управления. Это необходимо, чтобы не скатиться к цифровизации сложившихся эконо-

мических отношений старыми методами. Это относится и к ГИС-технологиям, поскольку первые опыты применения в сельском хозяйстве РФ показывают их некомплексное применение, наполнение гетерогенной информацией от хозяйства к хозяйству, отсутствие понимания Минсельхозом их интеграции как между собой, так и с другими ИС.

1. Сферы применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве

ГИС-технологии нашли применение в сельскохозяйственной сфере на различных уровнях управления: федеральном, региональном, производственном (от агрохолдинга до фермерского хозяйства). В силу отличия по составу решаемых задач на каждом из уровней будет и другой состав требуемых данных, а также программных модулей их обработки и представления. Фирмы, разрабатывающие ГИС, вынуждены обеспечивать нужный уровень интеграции информационных ресурсов (ИР) и соответствующих программных модулей. С другой стороны, и данные для ГИС имеют различные источники. В настоящее время информация поступает после предварительной обработки со спутников; беспилотных летательных аппаратов (БЛА); различных наземных станций мониторинга; датчиков, установленных на сельскохозяйственную технику, в почву; из баз данных (БД) и с бумажных носителей органов управления организаций. У каждого источника на каждом уровне имеется своя стоимость и качественная характеристика единицы информации. На верхнем уровне ГИС используются для прогнозирования урожайности на больших площадях с оценкой в целом по стране, для формирования и проведения всех видов кадастровых работ с землями сельскохозяйственного назначения, мониторинга и принятия решений по нивелирова-

нию погодно-климатических факторов и т. д. На федеральном уровне ГИС позволяют контролировать путем сопоставления информации, поступающей из различных источников на Земле, с данными спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с возможностью передачи управленческой информации регионам. Аналогично, ГИС на уровне регионов, кроме контрольных и учетных функций, может дополнить своей информацией ГИС уровня предприятия, снабдить ею информационно-консультационные центры для оказания помощи товаропроизводителям.

Наконец, наиболее мощное и эффективное развитие ГИС-технологии получили в концепции точного земледелия (ТЗ), требующего сочетания большого количества данных и технологий. Точное земледелие представляет собой интеграцию принципиально новых высокоэффективных и экологически безопасных технологий производства продукции растениеводства на базе высокоточного позиционирования проведения технологических работ и соответствующих этим требованиям комплексов технических и агрохимических средств. Подобно животноводству, где каждому животному (в основном это относится к крупному рогатому скоту) подбираются свои рационы кормления, нормы ухода за счет мониторинга состояния здоровья, кормов, температуры, влажности помещения, качества продукции, в растениеводстве достигается, отчасти, оптимальная эффективность производства путем сбора и анализа данных, проведения необходимых агротехнических мероприятий по малым участкам полей с учетом большого числа характеристик этих участков. В технологиях точного земледелия сейчас видится основной путь повышения эффективности и качества продукции сельского хозяйства в мире на фоне исчерпания других факторов повышения, к которым можно отнести: выведение более продуктивных сортов растений, изобретение более энергоэффективной сельскохозяйственной техники, создание оптимальной агротехнологической системы ведения сельского хозяйства, появление эффективных средств защиты и кормления растений. В [1] предсказывается снижение до 20% на гектар таких ресурсов, как топливо, семена, удобрения. Огромная популярность ГИС заключается в возможности интеграции, обработки и анализа всей совокупности информации от большого количества различных ее источников.

Рынок ТЗ, по оценкам Roland Berger [2], в 2020 г. вырастет до 4,5 млрд. евро с 3 млрд. евро в 2016 г. В США уже 40 – 50 % хозяйств пользуются техноло-

гиями ТЗ, что составляет около 40% рынка в мире. Мониторинг фермерских хозяйств США показал, что наибольшей популярностью пользуются следующие услуги ТЗ: экспресс-анализ почв (90% хозяйств); мониторинг и картирование урожайности, космическая навигация техники (80%); дозированное внесение удобрений на основе оперативных технологических карт (60%); снимки с космических аппаратов, вегетативные индексы культур (30%).

В Евросоюзе лидером по внедрению ТЗ является Германия. Планируются большие эксперименты с ТЗ в Китае и Индии.

По данным [2], в 2017 г. рынок ТЗ в России оценивался в 221,8 млн. долл. (1,2% всего рынка ТЗ). Хотя, на первый взгляд, в стране большой потенциал для развития ТЗ в силу низкой урожайности культур, низкой производительности труда (ниже США в 20 раз), однако, эти же данные указывают на недостигнутый еще потолок указанных выше традиционных факторов повышения эффективности выращивания продукции сельского хозяйства. Много и других причин, препятствующих внедрению ТЗ. Это и высокая цена всего комплекса из оборудования и услуг, в основном, западного производства. Порой стоимость только оборудования превышает стоимость отечественной техники. Это и отсутствие промышленного изготовления в серии российской сельскохозяйственной техники, приспособленной к монтажу необходимого оборудования и программного обеспечения (ПО) ТЗ и работе с современными технологиями ТЗ. На отечественном рынке нет и комплексного ПО, предназначенного для планирования, проектирования интегрированных агротехнологий, и оперативного управления всем производственным процессом выращивания сельскохозяйственных культур [3]. В силу бедности большинства хозяйств России преимуществами ТЗ может воспользоваться незначительное их количество. На основе расчетов [4] видно, что лишь около 17% хозяйств могут осуществить начальный этап информатизации без государственной поддержки. Только при переходе к единому информационному Интернет-пространству цифрового взаимодействия АПК при поддержке государства можно говорить о полноценном использовании технологий ТЗ в АПК.

2. Комплексный подход к применению технологий точного земледелия в сельском хозяйстве

Исходя из определения точного земледелия как системы, состоящей из тесно увязанных подсистем в виде новых технологий производства продукции растениеводства, программно-аппаратных средств высокоточного позиционирования проведения техноло-

гических работ и соответствующего этим требованиям комплекса технических и агрохимических средств, можно сделать вывод, что внедрение ТЗ должно опираться на системный подход. Об ошибках бессистемного внедрения пишется в [5]. Например, указывается, что процесс переделки имеющейся техники под дифференцированное внесение удобрений довольно сложен и дорог. Более эффективный выход видится в приобретении новой техники. Успех этого этапа перехода к ТЗ определяется грамотным учетом множества факторов, как технологических, временных, этических, так и человеческих. И такие примеры в публикациях встречаются часто.

Исходя из анализа [1, 6, 7], можно утверждать, что для каждого конкретного хозяйства наибольшая эффективность применения ТЗ достигается при формировании комплекса технических, программных средств, интегрированных между собой.

2.1. Приборы и датчики для точного земледелия:

- системы параллельного вождения;
- пробоотборники и почвенный анализ;
- системы дифференцированного внесения;
- датчики урожая.

2.2. Мониторинг сельскохозяйственных угодий:

- мониторинг границ рабочих участков полей;
- агрохимический мониторинг полей;
- картирование урожайности;
- анализ условий местности.

2.3. Мониторинг техники:

- автоматизированный сбор данных на основе космической навигации;
- визуализация перемещений техники;
- оперативный учет сельскохозяйственных работ.

2.4. Средства передачи информации в структурные подразделения хозяйства:

- учет сельскохозяйственной продукции;
- финансовый анализ;
- задачи управления;
- задачи планирования.

В этом случае системное применение технологий ТЗ позволит добиться ощутимой выгоды в виде: сокращения затрат топлива, семян, удобрений, воды и т. д.; роста урожайности культур; повышения качества продукции; повышения плодородия почвы; снижения экологических рисков.

Однако в нашей стране, наряду с вышеуказанными проблемами в виде высокой стоимости ТЗ, неготовности многих хозяйств к внедрению, возникают дополнительные риски на пути точного земледелия.

Фактически происходит квантовый скачок в технической сложности новых технологий, что требует другого уровня компетенций и исполнительской дисциплины. Стремительный многове-

кторный технический прогресс приводит к отсутствию устоявшихся практик на фоне традиционно консерватизма в сельском хозяйстве, когда технологии проверялись годами, десятилетиями. В этой ситуации при почти ежедневных сообщениях о появлении все более совершенных технологий становится наиболее рациональной стратегия – подождать, тем более, что нет достоверных данных об экономической эффективности всех новшеств.

3. Мировые тенденции к интеграции информационных ресурсов

Одной из основных тенденций в развитии современного общества и экономики является повсеместная интеграция разрозненных процессов в единую систему с целью повышения эффективности взаимодействия с широким использованием достижений ЦЭ. Данная систематизация позволяет улучшить обмен информацией между различными отраслями и участниками логистической цепи добавленной стоимости, увеличить скорость обработки и выполнения заказов. С каждым годом все большее число компаний прибегает к принципу интеграции разрозненных процессов в единую систему. Их рост в последние два десятилетия значительно изменил характер мировой экономики, оказал сильное влияние на отдельные страны. Данные тенденции потребовали интеграции различных отраслей, порой в разных странах, в частности, на основе введения согласованных соответствующих стандартов и правил ведения бизнеса. В большинстве отраслей потребность в комплексном, системном подходе к управлению связана с требованиями рынка, требованиями регулирующих органов и недавно появившимися требованиями третьих – заинтересованных лиц.

Это с одной стороны. С другой – мировые тенденции в области нормирования и регулирования производства ориентированы на глобальную гармонизацию требований к производству различных продуктов на протяжении всего жизненного цикла от разработки до получения заданного эффекта. Таким образом, налицо ярко выражены два основных направления:

- увеличивающаяся социальная ответственность производителя продукта, навязываемая государством и обществом в целом;

- акцент на обеспечение выпуска продукции надлежащего качества посредством организационно-управленческих мер по всем этапам – от разработки нового до реализации готового продукта. Практически во всех странах население поменяло свои модели потребления в сторону повышения качества и безопасности пищевых продуктов.

Что касается третьих лиц, то в последнее время востребована концепция, по которой каждый покупатель в онлайн-режиме может проверить сведения о качестве, безопасности и легальности продукции, а контролирующие органы получать доступ к полному спектру сведений о продукте.

В результате в большинстве отраслей появились так называемые референтные модели, объединяющие и систематизирующие все знания по отраслевым бизнес-моделям. По сути, референтные модели представляют собой эталонные схемы организации бизнеса, разработанные для конкретных бизнес-процессов на основе реального опыта внедрения в различных компаниях по всему миру. Они включают в себя проверенные на практике процедуры и методы организации управления [8], оформленные в виде технологических карт и документации, содержащей весь процесс производства продукции, описание операций и их составных частей: сырья, материалов, производственной техники, машин, оборудования и технологических режимов, – необходимые для изготовления изделия, время, квалификация работников.

Совершенствование информационных технологий в последнее время позволило обобщить эти технологии с помощью системного подхода, онтологического и математического моделирования, в частности, математической модели синтеза оптимальных информационных систем [9]. В результате, информационные технологии (ИТ) начинают диктовать правила формирования отраслевых референтных моделей на основе их интеграции и типизации. Их интеграция должна привести к появлению некоего ядра онтологической модели страны. Как было сказано выше, технологии ТЗ также требуют интеграция разрозненных подсистем в единую систему, а современные ГИС способны это обеспечить.

Порой эти процессы идут несогласованно. Связано это с дезинтеграционными процессами, продиктованными рыночной стихией, устаревшими технологиями, более привычными для многих руководителей ИТ-подразделений, при проектировании, разработке и внедрении ИС. Поэтому многие из них стремятся совершенствовать за счет новых технологий существующие системы, занимаясь цифровизацией сложившихся экономических отношений. В результате большинство отраслей оказалось на разных уровнях интеграции ИС, что будет сдерживать объединение их в единую систему.

4. Модель синтеза оптимальных информационных систем (цифровых платформ)

4.1. Описание структуры системы управления. Под структурой системы управления будем пони-

мать организационную совокупность ее взаимосвязанных элементов, определяющих их место как в чисто физическом, так и технологическом смысле (уровень и конкретное место размещения элемента в пространстве и технологической схеме принятия решений и обработки информации).

Под проектированием структуры цифровых платформ (ЦП) понимается процесс построения взаимосвязей элементов структуры управления и самих элементов в соответствии с заданными критериями эффективности в целом.

Рассматривается система, состоящая из множества узлов управления j (например, федеральных и региональных министерств, ведомств, предприятий, их подразделений), множества задач K , связанных с обработкой данных, размещаемых в дата-центрах, ситуационных центрах (СЦ), кластеров данных L , типов связи R . Процесс управления предполагается периодически с периодом T , и все операции расчетов, передачи данных и т. д. усреднены по времени. Будем считать, что любая задача может решаться в любом узле, в том числе разбиваться по этим узлам. Для решения задач используются некоторые обобщенные технические средства.

4.2. Математическая модель. Ограничения на размещение задач по узлам и техническим средствам:

$$- \sum_j x_{jk} \geq 1, \quad k \in K^3 \in K, \text{ то есть } k\text{-я задача должна}$$

быть решена хотя бы в одном узле;

$$- x_{jk} \geq 1, \quad j \in J_1, \quad k \in K^4 \in K, \text{ то есть некоторые задачи из множества } K \text{ должны быть обязательно решены в некоторых узлах } j \in J_1.$$

Условия передачи информации из узла j_1 в узел j_2 :

$$\sum_r y_{lj_1j_2r} = \sum_k a_{klj_1} x_{j_2k}, \quad j_1 \neq j_2.$$

Информация передается из узла j_1 в узел j_2 , когда она возникает в узле j_1 и используется в узле j_2 для задачи k ; $\sum_r y_{lj_1j_2r} \leq 1$, когда информация передается одним средством связи.

Ограничение на загрузку оборудования:

$$\sum_{jk} d_{mjk} x_{jk} \leq M_m.$$

Ограничения на каналы связи:

$$\sum_{l,k} y_{lj_1j_2r} f_{klj_2}^e \leq G_r^e s_{j_1j_2r}.$$

Финансовые ограничения на инвестиции:

$$\sum_{j,k} c_j^1 x_{jk} + \sum_{j_1, j_2, r} c_{j_1 j_2 r}^2 s_{j_1 j_2 r} + \sum_{j,k} c_k^5 x_{jk} \leq c^0.$$

Критерий эффективности:

$$\sum_{j,k} c_j^1 x_{jk} + \sum_{j_1, j_2, r} c_{j_1, j_2, r}^2 s_{j_1, j_2, r} + \sum_{j_1, j_2, r} c_{j_1, j_2, r}^3 f_{klj_2}^e y_{lj_1, j_2, r} + \sum_{m, j, k} c_{mjk}^4 d_{mjk} x_{jk} + \sum c_k^5 x_{jk} \rightarrow \min,$$

где k – номер задачи, $k \in K$; l – номер группового информационного элемента, $l \in L$; j – номер узла управления, $j \in J$; f_{klj}^e – средние характеристики (объем информации; временные, частотные требования и т. д.) на информацию l -й группы, необходимый для задачи k , возникающий в узле j , $e \in E$; $x_{jk} = 1$, если k -я задача решается в узле j , 0 – иначе; $\alpha_{klj} = 1$, если l -я группа возникает в узле j для k -й задачи, 0 – иначе; $y_{lj_1, j_2, r} = 1$, если информация из l -й группы передается из j_1 -го узла в j_2 -й посредством r -го средства связи; d_{mjk} – необходимые ресурсы m -го типа для решения k -й задачи в j -м узле; M_m – m -е ресурсы оборудования; $s_{lj_1, j_2, r} = 1$, если r -й тип связи используется для передачи l -й группы из j_1 -го узла в j_2 -й; G_r^e – характеристики средств связи; c_j^1 – стоимость единицы оборудования в j -м узле; $c_{j_1, j_2, r}^2$ – стоимость r -го средства связи при передаче информации из j_1 в j_2 ; $c_{j_1, j_2, r}^3$ – затраты на передачу единицы информации из j_1 в j_2 ; c_{mjk}^4 – стоимость m -го ресурса для решения k -й задачи в j -м узле; c_k^5 – обобщенная стоимость k -й задачи; c^0 – средства, выделенные на разработку ЦП.

Представленная в работе модель позволяет в пределах выделенных финансовых ресурсов распределять информационные средства и решаемые задачи по узлам управления (дата-центрам, СЦ), определять при необходимости инвестиции в телекоммуникационные средства с оптимизацией информационных потоков.

5. Цифровая платформа применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве

На основе технологии синтеза оптимальных ЦП [9, 10] была проведена интеграция всей первичной учетной информации в АПК. Оказалось, что вся первичная учетная информация может быть сформирована в виде универсальной структуры (кортежа): вид операции, объект операции, место проведения, кто проводил, дата, интервал времени, задействованные средства труда, объем операции, вид потребленного ресурса, объем потребленного ресурса. Данная структура коррелирует, например, с формой ИТК-2 [11] в сельском хозяйстве (рис. 1).

Учитывая современные возможности облачного хранения информации на основе мощных систем управления БД (СУБД), первичная учетная информация всех предприятий может храниться в единой облачной БД первичного учета (ЕБДПУ) в виде указанного кортежа. Аналогичным образом, проведя интеграцию на основе онтологического моделирования технологических БД в растениеводстве, животноводстве, механизации и т. д., получим типовые логические структуры технологических БД, которые также могут храниться в единой базе данных (ЕБД) технологического учета (ЕБДТУ) всех предприятий под управлением СУБД (рис. 2).

На рис. 3 отображена укрупненная универсальная для большинства сельскохозяйственных производителей страны концептуальная информационная схема растениеводства с указанием величин информационных элементов в соответствующих блоках. Данная схема получена с использованием онтологического моделирования предметной области и явилась результатом совместного творчества сотрудников из ведущих отраслевых сельскохозяйственных научно-исследовательских учреждений (специалисты в области агрохимии, почв, удобрений, защиты растений, роста растений и пр.) и Всероссийского института аграрных проблем и информатики имени А. А. Никонова. Работа была апробирована на одном эталонном объекте – агрокомбинате «Кубань» в условиях выполнения подпрограммы «Электронизация сельского хозяйства» комплексной программы научно-технического прогресса стран-членов Совета экономической взаимопомощи (СЭВ) [15].

Комплексность решения задач и интегрированность информации для их решения, требование их функциональной полноты привело к формированию унифицированного списка решаемых задач в составе 240 задач.

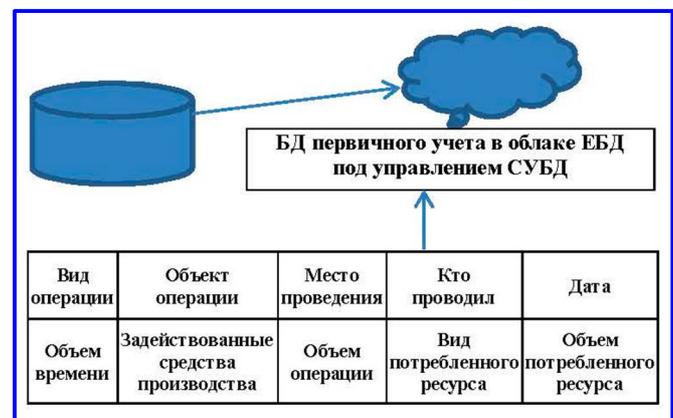


Рис. 1. Универсальная структура первичного учета

Таким образом была смоделирована ЦП, представляющая из себя интеграцию в единой облачной БД информации первичного учета и технологических БД на основе унифицированной системы сбора, хранения и анализа первичной учетной, технологической, ста-

тистической информации, сопряженной как между собой, так и с единой системой классификаторов, справочников, нормативов, представляющих реестры практически всех материальных, интеллектуальных и человеческих ресурсов АПК.

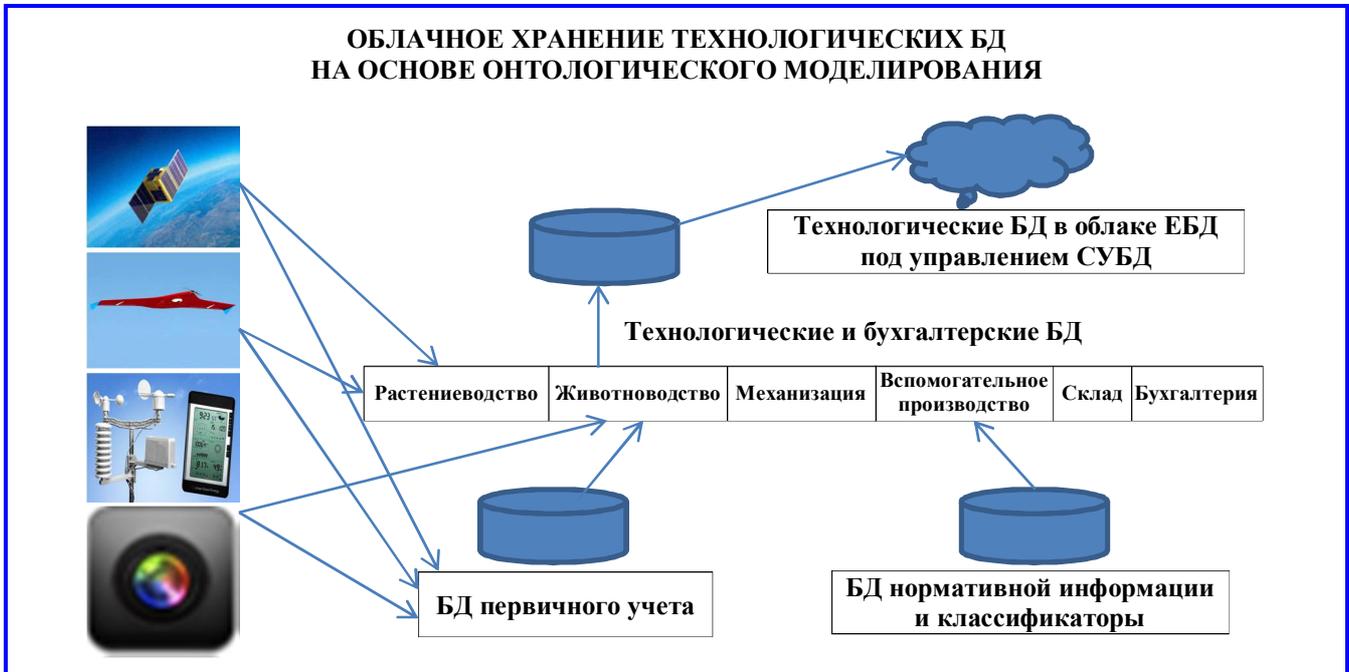


Рис. 2. Облачное хранение технологических БД



Рис. 3. Укрупненная концептуальная информационная схема растениеводства

Представленная ЦП приобретает особенное значение в настоящее время, когда технологии ДЗЗ, ГИС начинают активно внедряться в такой относительно молодой сфере аграрного производства, как ТЗ, требующей сочетания большого количества данных и технологий. На рис. 4 представлена схема перспективной цифровой платформы применения ГИС в сельском хозяйстве. Рассмотрим отдельные звенья данной схемы. В настоящее время вся информация ДЗЗ находится в гетерогенных структурах БД наземных различных ведомственных комплексов и центров. Информация в большинстве случаев передается потребителям в виде снимков, которые тем приходится дешифровать, затрачивая значительные средства. Эффективным способом решения данной проблемы было бы создание единой ГИС ДЗЗ с единым центром дешифровки, откуда пользователи смогут получать готовые оцифрованные снимки. Следует отметить, что в этом направлении появились прогресс. Появилось предложение в Концепции развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года о создании Единой территориально-распределенной информационной системы ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ) с интеграцией всех информационных ресурсов ДЗЗ в единое геоинформационное пространство. Данная система существенно облегчит и удешевит до-

ступ различных потребителей ДЗЗ. Это в планах, а как в реальности все будет осуществлено, большой вопрос.

Конечно, с целью удешевления и повышения эффективности использования БЛА необходимо разработать стандартные программно-технические средства дешифровки снимков и с этих аппаратов. Информация после дешифровки должна попадать в облачную ГИС (ОГИС), объединяющую единую БД технологического учета, единую БД первичного учета и единую базу данных реестров всех материальных, интеллектуальных и человеческих ресурсов АПК. В качестве примера возможности формирования подобной ГИС можно привести существующую в ЕС Единую административно-управляющую систему (IACS), включающую данные о земельных участках и их землепользователях. Далее информация со всех источников, космических, БЛА, мачт, гаджетов, датчиков наземных и установленных на сельскохозяйственной технике, попадает в облачную ГИС и часть непосредственно на принимающую аппаратуру полевых агрегатов. Таким образом, в ОГИС будет сосредоточена вся информация обо всех операциях, совершенных на каждом участке, с каждой головой (группой) животных, с каждым техническим средством всеми работниками на протяжении всего года. Будут отслеживаться все перемещения продукции и материалов, любой техники.

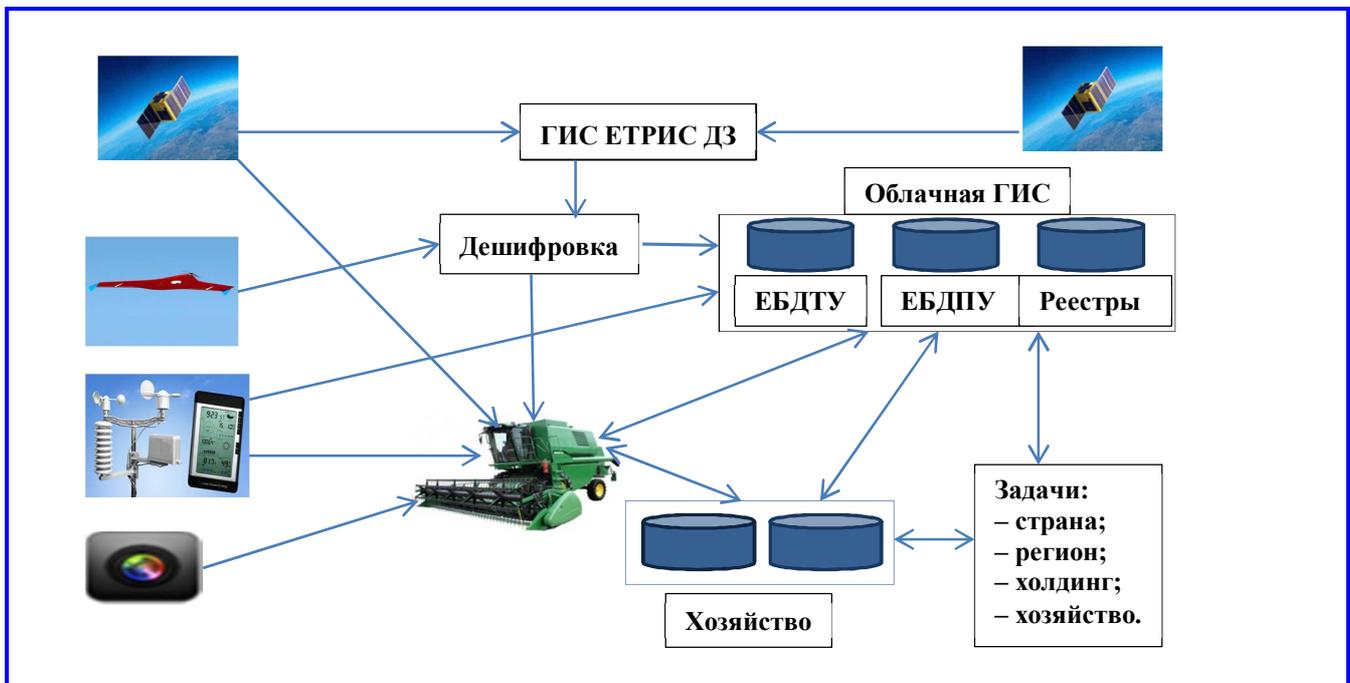


Рис. 4. Схема перспективной цифровой платформы применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве

Данная ЦП на основе технологий ГИС: создаст основу системы оперативного управления, планирования; станет инструментом для экономического анализа производства на основе математического моделирования, big data, нейросетей в различных срезах от конкретных производственных участков, голов скота, полей, средств производства, работников на каждом уровне вплоть до федерального уровня с отслеживанием всех перемещений животных, техники, материальных ресурсов, людей и т. д. на протяжении всего жизненного цикла их использования и деятельности; позволит существенно упростить бухгалтерский и статистический учет.

Поскольку технологии ДЗЗ, ГИС начали активно применяться во многих отраслях экономики, таких как картография, экология, лесное и сельское хозяйство, обустройство земель, геология, логистика, строительство, нефте- и газотранспортные системы, погода и климат, океанология и т. д., то они должны постепенно приобрести статус инфраструктурных технологий. В этом случае данные технологии в ближайшем будущем должны будут играть в мировой экономике ту же ключевую роль, которую в свое время сыграли железные дороги, телеграфная и телефонная связи, а также электрические сети. Идею технологии общего назначения впервые выдвинул Пол Дэвид в работе [12]. При этом каждой технологии общего назначения должен соответствовать свой технический и экономический уровень функционирования. Представленная перспективная ЦП применения геоинформационных систем должна стать основным звеном инфраструктурных технологий ДЗЗ, ГИС и, отчасти, ТЗ, поскольку обладает всеми необходимыми параметрами для этого. При этом внедрение ее позволит удешевить применение технологии ТЗ в сотни раз с существенным повышением эффективности.

6. Опыт применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве

Следует признать, что в развитых странах в настоящее время не все звенья перспективной цифровой платформы применения геоинформационных систем используются. Так, например, в Германии в настоящее время проходит испытание продукт Atfarm. Atfarm – это веб-сервис, разработанный на основе многолетнего опыта норвежского производителя Yara в области питания и удобрения растений и данных, собранных с помощью оборудования Yara N-Sensor [13]. Он позволяет фермерам вносить азотные удобрения на конкретных участках с использованием спутниковых данных и информации из национальной IACS, включающей в себя, как уже отмеча-

лось выше, данные по всем земельным участкам и землепользователям. В свою очередь, Yara N-Sensor – оборудование, которое устанавливается на трактор и позволяет фермерам измерять требования культуры к азоту при движении трактора по полю, а также варьировать дозу внесения удобрения на клетке 20×20 м с учетом рельефа местности, физико-химических свойств почвы и т. д. Результирующую информацию оборудования фермерам почти не передают в силу рыночных отношений. То есть нет единого интерфейса, сервиса по передаче таких данных в базу данных потребителей.

Тем не менее, будущее ГИС выглядит впечатляюще. Это видно из анализа темпов роста технологий точного земледелия, проведенного компанией J'son & Partners Consulting. Если в 2010 г. было около 20 фирм, работающих в области автоматизации управления сельским хозяйством, то сейчас таковых свыше 2 000.

К самым известным зарубежным ГИС относятся:

- ArcGIS, AtlasGIS (Environmental Systems Research Institut, США);

- AutoCAD (Autodesk, Inc., США);
- Intergraph (Intergraph Corporation, США);
- MapInfo (Pitney Bowes Software, США);
- MGE (Intergraph Corporation, США);
- MapPoint (Microsoft, США);
- WinGIS (Progis, Австрия);
- ERDAS (Leica Geosystems, Швейцария);
- Quantum GIS (QGIS) – проект, осуществляемый добровольцами международной группы волонтеров.

В нашей стране также стремительно появляется много компаний, предлагающих различные решения в области ТЗ на базе ГИС-технологий. Поскольку технологии ДЗЗ, ТЗ внедряются фрагментарно в силу изложенных выше причин, то и ГИС носят гетерогенный характер, выхватывая отдельные стороны внедряемых технологий. Например, почти во всех регионах идут эксперименты с дронами, но информация, получаемая с их помощью, используется лишь визуально без дешифровки и занесения в хоть какую-нибудь ГИС.

Рассмотрим сервисы компаний на основе ГИС по данным [14].

ГИС, разработанная DatumGroup, позволяет работникам Министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области следить за состоянием посевов в онлайн-режиме, рассчитывать индекс NDVI по снимкам с космических аппаратов и прогнозировать урожайность культур.

ГИС «Геоаналитика.Агро» компании «Совзонд» обеспечивает пространственной информацией со

спутников Landsat-8, Sentinel-1 и Sentinel-2, с сервиса RapidEye, агрометеорологической информацией для оперативного анализа в аграрной сфере.

Облачная ГИС «КосмосАгро» представляет также инструмент анализа данных спутниковой съемки для расчета различных индексов вегетации, для мониторинга динамики посевов, прогноза урожая, хода сельскохозяйственных работ с отображением и на картах, и в табличном виде. В зависимости от точности входных снимков осуществляется картирование полей, диагностика появления болезней растений, вредителей, прочих неблагоприятных ситуаций.

Предприятие «ЦентрПрограммСистем» уже наряду с услугами, предоставляемыми вышеуказанными компаниями, связывает пространственную информацию сельскохозяйственных угодий с базами данных хозяйств для учетных задач в агрономии, транспорте, механизации, бухгалтерии за счет интеграции ГИС с продуктами «1С:Предприятие 8» и GeoServer.

ГИС «ПанорамаАгро» декларирует комплексную информатизацию управления растениеводством за счет качественной навигации средств GPS/ГЛОНАСС, мониторинга движения и состояния сельскохозяйственной техники. Одной из продвинутых услуг является предложение по обработке мультиспектральных снимков с позиционированием их и расчетом индексов вегетации по полям.

Следующая группа сервисов, таких как «ГрадoСервис», ГИС «Полис-5», «ГИС для сельского хозяйства», информационно-аналитическая система (ИАС) «ГЕО-Агро» и еще ряд других подобных, являются, в большей степени, набором инструментальных программных средств, предназначенных для формирования баз данных на основе ГИС следующих характеристик полей: химико-физических, урожайности, баланса внесения-выноса удобрений, данных по проведенным операциям на основе ТЗ, направления движения агрегатов и автотранспорта, отбора проб почвы, метеоданных и некоторых других. При этом логические структуры БД являются гетерогенными неполными подмножествами концептуальной информационной схемы растениеводства, представленной на рис. 3, что представляет угрозу будущей интеграции сельскохозяйственных информационных ресурсов в перспективную цифровую платформу применения геоинформационных систем в АПК.

7. Научные основы достижения целей перспективной цифровой платформы геоинформационных систем в сельском хозяйстве

Опыт внедрения научно-технических разработок позволил обобщить необходимые основные

условия для их успешной реализации: созревший так называемый социальный заказ на идею, достаточный технологический уровень в стране (мире) для эффективной реализации разработок и соответствующий технологическому образовательный уровень будущих пользователей для их восприятия и использования.

В силу недоиспользования традиционных факторов повышения эффективности выращивания продукции сельского хозяйства, как рассматривалось в пункте 1, высокой стоимости, сложности в освоении высокотехнологических средств ТЗ, ДЗЗ и ГИС следует признать, что для большинства хозяйств в стране отсутствует «социальный заказ». Достаточный же технологический уровень для эффективной реализации указанных технологий имеется только за рубежом, поэтому начать их использовать в комплексе могут лишь немногие ответственные предприятия.

Рассмотрим более внимательно третье условие – образовательный уровень будущих пользователей для восприятия и использования технологий ТЗ, ДЗЗ и ГИС, поскольку оно полностью коррелирует с пониманием смысла ЦЭ. Ученых и управленцев во многих отраслях по отношению к цифровой экономике можно разделить на три группы. Есть сторонники, хотя и с различным пониманием подходов к цифровизации экономики. Очень большую группу составляют «имитаторы» деятельности в этой сфере. Об этом можно судить по количеству публикаций на тему ЦЭ.

Существуют и ярые противники, перенесшие свое отрицательное отношение к информатизации на цифровизацию. Отчасти такое отношение продиктовано выводом лауреата Нобелевской премии Роберта Солоу еще 1970-х [16] об отсутствии экономического эффекта при внедрении компьютеров, опровергнутого впоследствии тщательными расчетами многими экономистами и самой жизнью.

Так, в [17] утверждается, что «попытки решения управленческих задач за счет ЭВМ приводили к огромным затратам труда и средств, и все это кануло в «лету», информатизация сельского хозяйства принесла только вред и никакого эффекта в ВВП страны не принесла».

Поскольку основные условия для успешной реализации в России технологий ТЗ, ДЗЗ и ГИС в сельском хозяйстве не вполне обеспечиваются, да еще и при ожесточенном сопротивлении, умелой имитации, выход видится в отработанной столетиями технологии: комплексная обработка самых совершенных указанных технологий на нескольких эталонных объектах, «песочницах», на разных уровнях территори-

ального деления, от предприятия до региона, с поставкой современных программно-технических средств в комплексе с разнообразным технологическим оборудованием и машинами, с последующим массовым внедрением по всей стране.

Заключение

Последовательная реализация перспективной цифровой платформы применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве на базе эталонных объектов создаст условия для превращения ее в комплекс научно-обоснованных инфраструктурных технологий для всего АПК. Данный комплексный подход многократно сократит издержки на внедрение технологий ТЗ, ДЗЗ и ГИС с существенным повышением эффективности их использования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-010-00619 «Разработка методологии применения результатов проекта «Цифровая Земля» для решения задач народного хозяйства и модель прогноза экономического эффекта их применения в контексте цифровизации России».

Литература

- Новицкий И. Точное земледелие: принцип работы и перспективы / И. Новицкий. – Текст : электронный // Сельхозпортал : [сайт]. – 2017. – URL: <https://xn--80ajgrcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/> (дата обращения: 09.04.2019).
- «Умное фермерство»: Обзор ведущих производителей и технологий // ГЕОЛАЙН Технологии : [сайт]. – 2018. – URL: <http://geoline-tech.com/smartfarm/> (дата обращения: 09.04.2019).
- Точное земледелие повысит урожаи // Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации : [сайт]. – 2009. – URL: <http://www.gisa.ru/55612.html> (дата обращения: 09.04.2019).
- Экономико-математическое моделирование сценариев информатизации сельского хозяйства / В. И. Меденников, Л. Г. Муратова, С. Г. Сальников [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 4. – С. 23 – 27.
- Как начать внедрять точное земледелие на предприятии // SmartFarming : [сайт]. – 2018. – URL: <https://smartfarming.ua/ru-blog/kak-nachat-vnedryat-tochnoe-zemledelie-na-predpriyatii> (дата обращения: 09.04.2019).
- Применение ГИС для обеспечения технологии «точного земледелия» // АО КБ «Панорама» : [сайт]. – 2008. – URL: <https://gisinfo.ru/item/65.htm> (дата обращения: 09.04.2019).
- Спутниковый мониторинг в сельском хозяйстве // Проект Aggeek.net : [сайт]. – 2018. – URL: <https://aggeek.net/ru-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve> (дата обращения: 09.04.2019).
- Гайдаш К. А., Меденников В. И. Интеграция референтных моделей знаний различных отраслей / К. А. Гайдаш, В. И. Меденников // Материалы Международной научной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях», Воронеж, 3 – 6 сентября 2018 г. – С. 27 – 36.
- Меденников В. И. Единое информационное Интернет-пространство АПК на основе идей А. И. Китова и В. М. Глушкова об ОГАС / В. И. Меденников // Цифровая экономика. – 2018. – № 3. – С. 69 – 74.
- Интеграция цифровой платформы АПК с цифровыми платформами смежных отраслей / Ф. И. Ерешко, В. В. Кульба, В. И. Меденников // АПК: экономика, управление. – 2018. – № 10. – С. 34 – 46.
- Кузьмин В. Н. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных работ в сельскохозяйственном производстве / В. Н. Кузьмин, А. П. Королькова, В. Д. Митракова [и др.]. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 316 с.
- Paul A. David. The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox // The American Economic Review. – 1990. – Vol. 80. – № 2. – P. 355 – 361.
- At farm helps you increase yield and quality // At farm : [сайт]. – 2019. – URL: <https://www.at.farm> (дата обращения: 22.02.2019).
- Конкуренция на рынке ГИС-сервисов для сельского хозяйства пошла в рост // Проект GISGeo : [сайт]. – 2015. – URL: http://gisgeo.org/news/agro_survey.html (дата обращения: 09.04.2019).
- Системный анализ в АПК и Н.Н. Моисеев / Ф. И. Ерешко, В. И. Меденников, С. Б. Огневцев // Труды института системного анализа Российской академии наук. – 2018. – Т. 68. – Вып. 2. – С. 22 – 25.
- Конвергентные ИКТ как ключевой фактор технического прогресса на ближайшие десятилетия и их влияние на мировое экономическое развитие / А. А. Акаев, А. И. Рудской // International Journal of Open Information Technologies. – Vol. 5. – № 1. – 2017. – P. 1 – 17.
- Ушачев И. Г. Система управления – основа реализации модели инновационного развития Агропромышленного комплекса / И. Г. Ушачев // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2013. – № 2. – С. 4 – 7.

Поступила в редакцию 21.05.2019

Елена Викторовна Бутрова, кандидат технических наук, доцент, e-mail: evbutrova@gmail.com. (ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»).

Виктор Иванович Меденников, доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: dommed@mail.ru. (ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ).

Татьяна Владимировна Кокуйцева, кандидат экономических наук,
доцент, заместитель директора по научной работе, e-mail: kokuytseva-tv@rudn.ru.
(ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»)
Т. 8 (495) 787-38-03.

Джордж Владимирович Ковков, кандидат технических наук, доцент,
заместитель генерального директора по научной работе,
т. 8 (495) 331-20-00, e-mail: kovkov-dv@rudn.ru.
(ООО «Институт физико-технологических исследований»).

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN AGRICULTURE

**E. V. Butrova, V. I. Medennikov,
T. V. Kokuitseva, G. V. Kovkov**

At the present time the level of development of information and communication technologies gave a boost to the development of the specific information systems allowing the acquisition, storage, processing and display of spatial data that are called geoinformation systems. These systems are currently used in different branches of the national economy. One of the most challenging spheres of application thereof is agriculture, which determines the relevance of the study. The authors of the article consider different areas and experience of using geoinformation systems in agriculture, integrated approach to application of precision farming technologies in agriculture, as well as global trends in integration of information resources. The model of synthesis of optimal information systems (digital platforms), digital platform of application of geoinformation systems in agriculture and scientific foundations for achievement of its objectives considered in the article are of the most interest.

Key words: geoinformation systems, agriculture, digital platform, trends, application of GIS.

References

1. Novitskii I. Precision farming: work principle and prospects / I. Novitskii. – Text : electronic // Agricultural portal : [web-site]. – 2017. – URL: <https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/> (access date: 09.04.2019).
2. ‘Smart farming’: Overview of leading producers and technologies // GEOLINE Technologies : [web-site]. – 2018. – URL: <http://geoline-tech.com/smartfarm/> (access date: 09.04.2019).
3. Precision farming will increase yields // Geoinformation portal of the GIS-Association : [web-site]. – 2009. – URL: <http://www.gisa.ru/55612.html> (access date: 09.04.2019).
4. Economic and mathematical modeling of agriculture informatization scenarios / V. I. Medennikov, L. G. Muratova, S. G. Salnikov [et al.] // International Agricultural Journal. – 2017. – No. 4. – P. 23 – 27.
5. How to start introducing the precision farming at an enterprise // SmartFarming : [web-site]. – 2018. – URL: <https://smartfarming.ua/ru-blog/kak-nachat-vnedryat-tochnoe-zemledelie-na-predpriyatii> (access date: 09.04.2019).
6. Application of GIS for ensuring the precision farming technology // JSC KB ‘Panorama’ : [web-site]. – 2008. – URL: <https://gisinfo.ru/item/65.htm> (access date: 09.04.2019).
7. Satellite monitoring in agriculture // Project Aggeek.net : [web-site]. – 2018. – URL: <https://aggeek.net/ru-blog/sputnikovyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve> (access date: 09.04.2019).
8. Gaidash K. A., Medennikov V. I. Integration of reference models of knowledge of different areas / K. A. Gaidash, V. I. Medennikov // Proceedings of International Scientific Conference ‘Mathematical modeling and information technologies in engineering and business applications, Voronezh, September 3 – 6, 2018. – P. 27 – 36.
9. Medennikov V. I. Common information Internet space of the agro-industrial complex on the basis of ideas about OGAS (Nationwide Automated Data Processing and Control System) set forth by A. I. Kitov and V. M. Glushkov / V. I. Medennikov // Digital Economy. – 2018. – No. 3. – P. 69 – 74.
10. Integration of digital platform of agro-industrial complex with digital platforms of related branches / F. I. Ereshko, V. V. Kulba, V. I. Medennikov // Agro-industrial complex: economy, management. – 2018. – No. 10. – Pp. 34 – 46.
11. Kuzmin V. N. Regulations and normative documents on planning of mechanized works in agricultural industry / V. N. Kuzmin, A. P. Korolkova, V. D. Mitrakova [et al.]. – Moscow : Federal State Scientific Institution ‘Rosinformagrotech’, 2008. – 316 p.
12. Paul A. David. The dynamo and the computer: an historical perspective on the modern productivity paradox // The American Economic Review. – 1990. – Vol. 80. – No. 2. – P. 355 – 361.
13. At farm helps you increase yield and quality // At farm : [web-site]. – 2019. – URL: <https://www.at.farm> (access date: 22.02.2019).
14. Competition in the market of GIS services for agriculture is growing // Project GISGeo : [web-site]. – 2015. – URL: http://gisgeo.org/news/agro_survey.html (access date: 09.04.2019).

15. System analysis in agro-industrial complex and N.N. Moiseev / F. I. Ereshko, V. I. Medennikov, S. B. Ognitsev // Proceedings of the Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences. – 2018. – V. 68. – Issue 2. – P. 22 – 25.
16. Convergent information and communication technologies as a key factor of technical progress for the next decades and their influence on the global economic development / A. A. Akaev, A. I. Rudskoi // International Journal of Open Information Technologies. – Vol. 5. – No. 1. – 2017. – P. 1 – 17.
17. Ushachev I. G. Management system: basis for implementing a model of innovative development of agro-industrial complex / I. G. Ushachev // Economics of agricultural and processing enterprises. – 2013. – No. 2. – P. 4 – 7.

Elena Viktorovna Butrova, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor,
e-mail: evbutrova@gmail.com.
(Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)).

Viktor Ivanovich Medennikov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.),
Senior Researcher, e-mail: dommed@mail.ru.
(All-Russia Research and Development Institute of Agricultural Economics).

Tatiana Vladimirovna Kokuitseva, Candidate of Economics (Ph. D.), Associate Professor,
Deputy Director for Science, e-mail: kokuytseva-tv@rudn.ru.
Tel.: +7 (495) 787-38-03.
(Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)).

George Vladimirovich Kovkov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor,
Deputy General Director for Science, tel.: +7 (495) 331-20-00,
e-mail: kovkov-dv@rudn.ru.
(JSC «Institute of Physico-technological Research»).