

УДК 338.43:631.004

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ И СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

Е. В. Бутрова, Ю. В. Денисов,  
Д. В. Ковков, А. Е. Скларов

*Статья посвящена проблемам развития цифровых технологий в сельском хозяйстве на примере освоения технологий дистанционного зондирования. Сельское хозяйство является потенциальным высокочемким сектором рынка информации дистанционного зондирования Земли. Развитие комплементарных по отношению к дистанционному зондированию Земли геоинформационных, навигационных, коммуникационных технологий, платформенные и сетевые решения, обеспечивают решение большого спектра задач по управлению сельскохозяйственным сектором экономики на международном, региональном, национальном уровнях и в рамках отдельных сельскохозяйственных предприятий. Технологии дистанционного зондирования Земли в свою очередь являются неотъемлемой частью комплекса технологий точного земледелия. В статье рассматриваются вопросы экономической эффективности дистанционного зондирования Земли, представлены результаты анализа существующих проблем внедрения цифровых технологий в сфере сельского хозяйства на основе мирового и российского опыта. Сформулированы основные внутренние и внешние факторы.*

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, цифровые технологии, дистанционное зондирование Земли, точное земледелие, космический аппарат, беспилотный летательный аппарат.

### Введение

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в рамках настоящего исследования рассматривается как сфера деятельности, обеспечивающая данными и информацией управление и производство в реальных секторах экономики. Поэтому роль ДЗЗ в настоящее время должна определяться принятой концепцией цифровой экономики (ЦЭ). В Указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы» дано определение цифровой экономики как хозяйственной деятельности, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг.

ДЗЗ является органической частью экосистемы геопространственных технологий, наряду с геоинформационными системами (ГИС), глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС) и технологиями сканирования. Данные и услуги ДЗЗ используют технологии геопозиционирования, а сами используются в производстве продуктов ГИС. Компании, работающие в области ДЗЗ, охватывают 38% геопространственной индустрии (Global geospatial industry outlook // Geospatial media and communications. 2017).

Драйверами ускоренного развития геопространственных технологий являются облачные вычисле-

ния, беспроводные и коммуникационные технологии, интернет вещей, робототехника и автоматизация, являющиеся необходимыми атрибутами современной цифровой экономики.

Необходимость широкого применения технологий ДЗЗ в сельском хозяйстве во всем мире вызвана рядом причин:

- рост населения и вызванная этим необходимость увеличения производства сельскохозяйственной продукции в мире на 70% к 2050 году;
- ограниченность пахотных земель, пригодных для земледелия, и водных ресурсов;
- изменение климата и ухудшение погодных условий, негативно влияющих на урожайность, что является пусковым механизмом повышения цен;
- экологическое воздействие сельского хозяйства, связанное с загрязнением грунтовых вод, утратой биоразнообразия, выбросами парниковых газов.

Необходимость внедрения цифровых инновационных технологий в РФ на микроуровне связана с низкой конкурентоспособностью отрасли и отрицательной динамикой следующих показателей:

- урожайность зерновых – РФ находится на 104 месте (Всемирный банк. URL: <https://ru.actualitix.com/country/rus/ru-russia-cereal-yield.php>) в мире;
- производительность труда в сельском хозяйстве – по выработке на человека, Россия отстает от развитых стран от 3-х (Германия) до 25-ти (США) раз (Цифровизация в сельском хозяйстве: технологические и экономические барьеры в России // Аналитический отчет; J'son & Partners Consulting. 2017);

– дефицит средств механизации: на 100 кв. км обрабатываемых угодий количество тракторов в России ниже, чем в Китае, Индии, США и Германии соответственно в 2, 4, 6 и 17 раз;

– площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий: по состоянию на 1 января 2017 г. составляла 31 335,45 тыс. га (15,8% от общей площади угодий) [1];

– степень деградации сельскохозяйственных угодий: 40% являются серьезно деградированными;

– влияние климатических факторов: 65% пашни, 28% сенокосов, 50% пастбищ подвержены разрушающему действию дефляции, засухе, суховеям и другим неблагоприятным явлениям;

– потери из-за сорных растений, болезней и вредителей, действие которых усугубляется дефицитом минерального питания, недобор урожая зерновых, овощных и плодовых культур достигает в зерновом эквиваленте ежегодно более 30 млн. т (30 – 40 %), что соответствует потере 200 млрд. руб.

Выходом из данного положения может стать внедрение цифровых технологий на основе концепции точного земледелия (ТЗ). Согласно широко распространенному определению (Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management // National Research Council. Washington, D.C., USA: National Academy Press, 1997) ТЗ – это стратегия управления, которая использует информационные технологии для получения данных из множества источников для принятия решений, связанных с растениеводством.

В сельском хозяйстве для получения информации используются два метода: проксимальный и дистанционное зондирование. Проксимальное зондирование посевов – непрерывное измерение в режиме реального времени пространственной вариабельности состояния почвы и посева при помощи датчиков, установленных на сельскохозяйственной технике и оборудовании. Дистанционное зондирование – съемка поверхности в различных диапазонах электромагнитного спектра. ДЗЗ позволяет сократить затраты средств и времени на полевые исследования, ускорить производство работ, повысить достоверность и полноту информации, производить оценку состояния сельскохозяйственных посевов на значительных площадях.

В настоящее время наиболее эффективно дистанционное зондирование осуществляется с помощью космических аппаратов (КА) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Спутниковое дистанционное зондирование широко используется во всем мире, непосредственно в сельском хозяйстве с 1993 года, так как хорошо подходит для мониторинга больших территорий. Доступная открытая информация КА применяется органами государственной власти. Основным ее недостатком

является низкое пространственное разрешение. Информация коммерческих операторов ДЗЗ, которая представляет более высокую ценность для сельскохозяйственных производств, имеет высокую стоимость, сложна в получении, обработке, обладает низким качеством в облачную погоду. Для применения в масштабах отдельных хозяйств БПЛА в сравнении с КА имеют конкурентные преимущества, так как позволяют более быстро, с меньшими затратами и в любых погодных условиях получить снимки более высокого разрешения.

Рассмотрим основные факторы, влияющие на возможность и эффективность применения указанных цифровых технологий.

### Информация ДЗЗ

Дистанционное зондирование представляет собой источник информационных благ, которые предоставляются в виде данных (снимков), услуг (обработка и предоставление данных) и информационных продуктов (программное обеспечение).

Данные классифицируются по пространственному, спектральному, радиометрическому, временному разрешению.

Услуги и продукты ДЗЗ в интересах сельского хозяйства классифицируются следующим образом:

- оценка воздействия на окружающую среду сельского хозяйства или агроэкологический мониторинг;
- оценка ущерба урожая из-за природных явлений, плохой погоды;
- мониторинг болезней и стресса растений;
- оценка урожайности посевных площадей, прогноз урожая сельскохозяйственных культур;
- оценка дохода;
- мониторинг уборки урожая;
- мониторинг потребления воды на сельскохозяйственные культуры и садоводство;
- обнаружение незаконных или нежелательных культур;
- картирование почв, урожайности, влажности, вредителей и т.п.;
- аналитика больших данных и статистика землепользования.

### Источники информации

Политика свободных данных правительств США и Европы и используемые в целях ее реализации порталы Европейского космического агентства (ЕКА), Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), различных ведомств позволяют получать бесплатные спутниковые снимки пространственным разрешением от 10 м. В настоящее время бесплатные снимки в интересах сельского хозяйства можно получить через:

– портал Геологической службы США (United State Geological Survey – USGS) Earth Explorer обеспечивает доступ к данным Landsat, цифровым моделям рельефа от ASTER и Shuttle Radar Topography Missions (НАСА), всем продуктам НАСА, таким как гиперспектральные снимки сенсора Hyperion, радарные данные от MODIS & AVHRR, снимкам Landsat 8 в видимом, в ближнем и в дальнем ИК-диапазонах, с разрешением снимков от 15 до 100 м;

– портал EKA Sentinels Scientific Data Hub, предоставляющий доступ к данным спутников Sentinel-2a и 2b с разрешением 10 м в 12 спектральных полосах, радиолокационным спутникам Sentinel-1 с разрешением 5 м;

– портал НАСА Reverb Data Hub предоставляет выборочные данные со спутников Aqua, Terra, Aura, TRMM, Calipso, NASA DC, JASON, ENVISAT, ALOS, METEOSAT, GOES, ICESAT, GMS, Landsat, NIMBUS, SMAP, RADARSAT, спутников NOAA;

– портал Earth Observation Link (EOLi) предоставляет данные со спутников Envisat, ERS, IKONOS, DMC, ALOS, SPOT, Kompsat, Proba, IRS, SCISAT;

– портал Бразильского института космических исследований National Institute for Space Research (INPE) предоставляет данные со спутников CBERS-2 и CBERS-2b, NOAA Aqua, Landsat, ResourceSat, S-NPP, Terra и UK-DMC 2 для стран Южной Америки и Африки;

– онлайн платформа Индийской организации космических исследований (ISRO) Bhuvan Indian Geo-Platform предоставляет данные с индийских спутников IMS-1, Cartosat, OceanSat и ResourceSat для пользователей внутри Индии, для стран Южно-Азиатской ассоциации регионального сотрудничества (Бангладеш, Бутан, Мальдивы, Непал, Пакистан, Индия и Шри-Ланка, Афганистан) предоставляются глобальный индекс NDVI, цифровые модели высот CartoDEM, климатические продукты;

– портал космического агентства Японии JAXA's Global ALOS 3D World предоставляет глобальную цифровую модель рельефа ALOS World 3D в разрешении 30 м по обработанным данным спутника ALOS;

– веб-сайт европейской исследовательской организации VITO Vision предоставляет доступ к снимкам низкого разрешения PROBA-V, SPOT-Vegetation и METOP;

– портал исследовательской организации США Global Land Cover Facility (GLCF) (URL: Landcover.org) позволяет оценить состояние земной поверхности и отследить изменения, происходящие со временем на основе данных Landsat, MODIS и AVHRR.

Бесплатные спутниковые снимки, являясь общественным благом, обеспечивают значительную экономическую выгоду. Так, стоимость услуг картирования посевных площадей, влажности, транспирации, включая рекомендации по орошению полей, предоставляемых для фермеров Австрии Институтом геодезии, дистанционного зондирования и информации о Земле Венского университета природных ресурсов и наук о жизни в рамках программы «Коперник» снизилась с 5 до 1,25 евро за гектар в год.

На рынке имеется большое количество коммерчески доступных спутниковых снимков высокого и среднего разрешения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, представляющих интерес для сельского хозяйства. Наиболее важные характеристики снимков для различных КА представлены в табл. 1.

Данные таблицы показывают, что не только просторное, но и временное разрешение большинства КА, принадлежащих коммерческим операторам, значительно выше, чем принадлежащим НАСА (Landsat – 16 дн.) или EKA (Sentinel – 2 – 5 дн.).

Таблица 1

Источники платных данных КА ДЗЗ

Космический аппарат	Разрешение		Минимальная площадь сцены, га	Цена за единицу площади, долл. США/га	Минимальная цена сцены с учетом стоимости обработки, долл. США
	Пространственное, м	Временное, сутки			
WorldView-2/3/4	0,3 – 0,5	1	10 000	0,275 – 0,325	2850 – 3350
Pleiades-1A/1B	0,5	1	10 000	0,2125	2225
Kompsat-2	1	6	10 000	0,08	900
Kompsat-3	0,7	3	10 000	0,16	1700
Kompsat-3A	0,55	3	10 000	0,24	2500
EROS B	0,7	5 – 6	5 000	0,15	850
Deimos-2	0,75	2	10 000	0,14	1500
Spot-6/7	1,5	1	50 000	0,0575	2975
Dove	3	1	25 000	0,018	550
RapidEye	5	5,5	50 000	0,0128	740

Примечание: составлено авторами.

Таблица 2

**Развивающиеся страны, наиболее активно использующие  
космические данные в интересах сельского хозяйства\***

Направление использования данных ДЗЗ	Страны
Сельскохозяйственные карты	Аргентина, Бразилия, Гватемала, Китай, Эфиопия, Гаити, Индия, Кения, Малави, Марокко, Мозамбик, Нигерия, Пакистан, Перу, Руанда, Сенегал, ЮАР
Оценка площади урожая	Аргентина, Бангладеш, Бразилия, Китай, Индия, Кения, Малави, Мексика, Марокко, Мозамбик, Пакистан, Филиппины, Россия, Сенегал, ЮАР, Таиланд, Тунис, Турция
Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур	Аргентина, Бразилия, Китай, Индия, Кения, Марокко, Сенегал, Таиланд, Тунис, Турция, Россия

\*Remote sensing technologies and global markets // BCC Research. 2016. IAS022E.

Россия относится к числу развивающихся стран наиболее активно использующих космические данные (см. табл. 2).

Растущий спрос на высококачественные данные ДЗЗ на всех этапах жизненного цикла урожая приводит к росту применения БПЛА в интересах фермерских хозяйств. Съёмка на основе дронов практически вытеснила аэрофотосъёмку и является технологическим конкурентом и необходимым дополнением спутниковой съёмки.

По данным [3] минимальная стоимость создания карт масштаба 1:500 – 1:5000 при использовании БПЛА составляет 200 – 300 руб./га, на основе аэрофотосъёмки 300 – 1000 руб./га.

Источники информации ДЗЗ отличаются по степени востребованности у сельхозпроизводителей. Так фермеры Канады (Lastname A. B., Coauthor C. D. A Gap Analysis of Broadband Connectivity and Precision Agriculture Adoption in Southwestern Ontario, Canada // Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. 2018) чаще используют снимки КА ДЗЗ (78%), чем БПЛА (39%).

#### **Потребители информации**

Две основные группы потребителей формируют требования к данным ДЗЗ и рынок данных и услуг дистанционного зондирования Земли:

- международные организации, федеральное и региональное правительство, органы местного управления;

- агрохолдинги, индивидуальные предприниматели, фермерские и подсобные хозяйства.

Высокая волатильность цен на мировом рынке на основные (зерновые) сельскохозяйственные культуры, вызванная погодно-климатическими факторами, необходимость прогнозирования рыночных дисбалансов требуют широкого международного сотрудничества. Например, в ре-

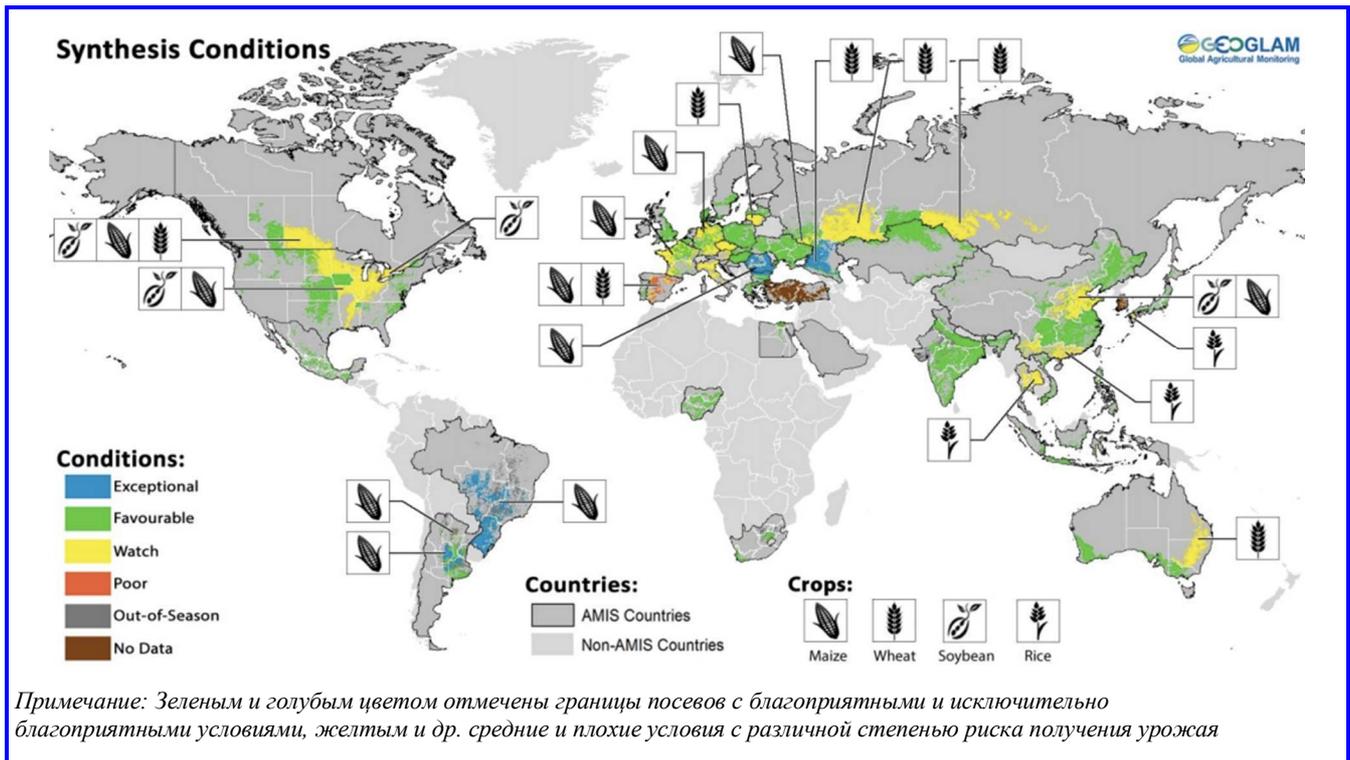
зультате засухи в 2008 и 2010 годах цены на мировом рынке пшеницы выросли с 200 до 460 долл. и, соответственно, 350 долл. США за тонну. Это послужило основанием инициативы группы двадцати стран (G20), которая получила название GEOGLAM. Разработанная в рамках GEO (группа наблюдения за Землей, организована Всемирной Метеорологической организацией, является межправительственной организацией, работающей над улучшением доступности, доступа и использования наблюдений за Землей на благо общества. GEO активно занимается улучшением и координацией глобальных систем ДЗЗ и содействует широкому и открытому обмену данными), данная инициатива преследовала цель укрепления потенциала международного сообщества по составлению и распространению актуальных, своевременных и точных прогнозов сельскохозяйственного производства в национальных, региональных и глобальных масштабах с использованием данных ДЗЗ.

В рамках своей деятельности GEOGLAM использует данные о NDVI, температуре, влажности почв, об атмосферных осадках, эвапотранспирации, стоках, полученные на основе обработки спутниковых данных и данных, полученных на Земле. За предоставление каждого вида данных отвечают НАСА, NOAA, USGS, USDA, исследовательские центры и университеты Европы и США.

Для разработки карт условий урожайности (рис. 1) используются проверенные методы, физические модели, разработанные научным сообществом, экспертные знания и оценки. Карты и отчеты проверяются и в обязательном порядке согласуются участниками в проекте международными экспертами.

Направления использования данных ДЗЗ для решения задач органов государственной власти:

- оценка использования сельскохозяйственных земель, включая выделение неиспользуемых земель,



**Рис. 1. Карта мониторинга урожая основных культур по данным GEOGLAM (GEOGLAM Crop Monitoring, August 2019. № 64)**

выявление зарастания древесно-кустарниковой растительностью, картографирование земель по структуре произрастающих культур;

- оценка состояния сельскохозяйственных земель, в том числе выявление последствий неблагоприятных природных условий;
- оперативная оценка состояния сельскохозяйственных посевов на уровне регионов, районов и отдельных землепользователей, прогноз урожая;
- контроль предоставляемой землепользователями и субъектами государственного управления отчетности.

Поскольку на мировых товарных рынках конкуренция возрастает, а отрасли становятся все более конкурентоспособными, предварительное знание вероятного производства и его географического распределения в различных масштабах является высоко востребованной информацией. Объективная оценка посевных площадей позволит приблизиться к оценкам производства в режиме реального времени, которые затем могут использоваться при обновлении информации о цепочке поставок на региональном, государственном и национальном уровнях.

Для решения указанных задач приказом Минсельхоза России от 02.04.2018 г. № 130 с 12 апреля 2018 года введена в эксплуатацию Единая федеральная информационная система о землях сель-

скохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий (ЕФИС ЗСН). Для этой системы на основе космических снимков среднего разрешения спутников Terra, Landsat, Sentinel разработан программный модуль, который позволяет рассчитывать в автоматическом режиме показатели растительного покрова и их динамику в границах всех сельскохозяйственных угодий РФ с учетом имеющихся в УФИС ЗСН сведений о землепользователях, выращиваемых культурах, плодородии, негативных явлениях, полевых исследований. Информация служит для определения состояния посевов, прогноза урожая, контроля предоставляемых землепользователями сведений, использования земельных ресурсов.

Для отдельных хозяйств ДЗЗ является составной частью комплекса технологий ТЗ. Кроме ДЗЗ ТЗ включает в себя технологии глобального позиционирования (GPS), географические информационные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies), технологии переменного нормирования (Variable Rate Technology), параллельного вождения и др. В отличие от государственных заказчиков критерием использования ДЗЗ в агрохозяйствах является повышение рентабельности производства.

В табл. 3 представлены некоторые статистические показатели сельскохозяйственной отрасли РФ в разрезе категорий хозяйств. В таблице не представлены данные о личных подсобных хозяйствах, которые не представляют интерес в связи с тем, что несмотря на большое число (23,5 тыс.), занимают лишь 2700 га пахотных земель и в настоящее время не могут являться потенциальными потребителями информации ДЗЗ.

В структуре производства сельскохозяйственной продукции России в отличие от развитых стран (США) очень высока доля малых предприятий, индивидуальных предпринимателей (ИП), фермерских и подсобных хозяйств, которая составляет почти 97% по количеству производств. Этими хозяйствами производится более 50% продукции растениеводства в денежном выражении, от 50 до 90 % объема производства отдельных видов продукции в натуральном выражении, в то же время ими занято 60% (56,5 млн. га) площади пашни, что говорит о крайне низкой производительности.

Доля крупных хозяйств составляет 3% (в США – 20%), агрохолдингов – 0,1% (в США – 0,5%), что крайне мало, так как именно они должны вносить основной вклад в ВВП сельского хозяйства.

При этом инвестиционный (инновационный) потенциал и крупных, и мелких производств крайне низок по причине низких показателей выручки и рентабельности, высоких расходов на

погашение банковских кредитов, несмотря на субсидирование процентных ставок.

### Экономическая эффективность

В зарубежных и отечественных публикациях по ДЗЗ и ТЗ имеются оценки эффективности применения новых технологий в сельском хозяйстве [8, 9]. Сложность проведения оценок связана с недостаточностью статистической информации, большим количеством разрозненных данных, неотработанной практикой.

Используем подход на основе сравнения экономической эффективности применения информации со спутников, БПЛА и аэрофотосъемки. Все затраты и выгоды будем оценивать на единицу площади – 1 га.

Обозначим:

$C_{\min}$  – минимальная стоимость сцены космического снимка, долл. США/га;

$C_s$  – стоимость обработки, получения технологической карты для дальнейшего использования в технологии ТЗ – внесения удобрений, полива и т.п., долл. США/га;

$\pi_{pm}$  – среднестатистическая экономическая выгода применения ТЗ, долл. США/га;

$S$  – площадь фермы (агрохолдинга, подсобного хозяйства);

$n$  – минимально необходимое количество снимков в год.

Таблица 3

Статистические показатели сельскохозяйственной отрасли РФ

Показатель	Сельскохозяйственные организации		Фермерские хозяйства и ИП
	Все	Малые, микропредприятия	
Количество, тыс.	36	24,3	174,7
Численность работников, тыс.	1387	379	301
В том числе с высшим образованием	131	29	нет данных
Средняя выручка, тыс. руб.	35750 <sup>1</sup>		2666 <sup>2</sup>
Площадь пашни, тыс. га	64891	29642	26848
Средний размер пашни, га	1803	1220	154
Хозяйства более 200 га земли:			
% от численности хозяйств	100	99,9	40,2
% от пашенных земель	100	100	89,9

Примечание: составлено авторами на основе данных Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года (Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. В 8 т. Т. 1. Основные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: кн. 1.: Основные итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года по Российской Федерации Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. 458 с.: диагр.).

<sup>1</sup>Россия в цифрах. 2019. Краткий статистический сборник // Росстат. М., 2019. 549 с.

<sup>2</sup>Там же.

$C_{\min}$  будем рассчитывать из табл. 1, для бесплатных снимков Landsat, Sentinel  $C_{\min} = 0$ . Среднее значение  $C_s$  составляет на сегодняшний день примерно 100 долл. США/га. Для снимков на базе БПЛА и аэрофотосъемки приблизительно стоимость снимка с учетом обработки 3 долл. США/га и, соответственно, 5 долл. США/га [3]. Тогда справедливо отношение:

$$(C_{\min} + C_s)n \leq S\pi_{pm}.$$

Минимальная площадь фермы, при которой применение спутникового ДЗЗ будет экономически оправдано, составит:

$$S_{\min} \geq \frac{(C_{\min} + C_s)n}{\pi_{pm}}.$$

Для  $n = 5$  и  $\pi_{pm} = 30 \div 47$  долл. США/га [4, 7, 9] для спутников среднего разрешения Dove ( $C_{\min} = 450$ )  $S_{\min} \geq 59$  га. Для спутников с высоким разрешением EROS B  $S_{\min} \geq 101$  га, Pleiades  $S_{\min} \geq 247$  га. Для бесплатных снимков со спутников Landsat, Sentinel  $S_{\min} \geq 11$  га. Для технологий БПЛА и аэрофотосъемки  $S_{\min} \geq 0,3$  га и  $S_{\min} \geq 0,5$  га.

Таким образом, при существующей бизнес-модели поставщиков и конъюнктуре цен на коммерческие спутниковые снимки и уровне эффективности ТЗ ( $\pi_{pm}$ ) применение в системах точного земледелия снимков среднего и высокого разрешения оправдано для хозяйств, обрабатывающих более 100 га земли. В соответствии с данными табл. 3 использование спутниковой информации возможно в 36 тыс. сельскохозяйственных организаций и 76 тыс. фермерских хозяйств и ИП (94% пахотных земель). Бесплатные космические снимки экономически оправданы для относительно малых хозяйств, но они не обеспечивают нужного качества.

При переключении поставщиков данных ДЗЗ с модели цены «оплата за сцену» к модели «оплата за фрагмент сцены» (Remote sensing business opportunities with open data // Geospatial World. 2018. URL: <https://www.geospatialworld.net/blogs/remote-sensing-business-opportunities/>) рынок спутниковых снимков станет доступным для любых пользователей.

Конкуренция на рынке ДЗЗ, рост предложения космических снимков в связи с коммерциализацией и появлением большого количества стартапов привели к появлению новых бизнес-моделей, которые сделали более демократичным доступ к информации ДЗЗ. Важная тенденция – предоставление готовых решений. Пример: компания FarmerEdge предлагает на

российском рынке сервисы для ТЗ на основе цифровых платформ, использующие спутниковые снимки, со стоимостью услуг от 7 до 12 долл. США в год за 1 га (URL: <https://www.farmersedge.ca/ru/pricing/#>).

Наибольшую выгоду сельхозпроизводители при использовании технологий ДЗЗ могут получить на основе снимков БПЛА.

Технологии точного земледелия значительно повышают продуктивность, качество и обеспечивают экономию удобрений: так в примере с яровой пшеницей использование технологий проксимального и дистанционного зондирования совместно с технологией дифференцированного внесения удобрений показал увеличение урожайности на 29%, экономию удобрений на 26% [2]. Сравнение затрат и выгод при внедрении проксимального зондирования с использованием сенсоров типа N-сенсора (Yara), Isaria (Fritzmeier) или GreenSeeker (Trimble) и при внедрении ДЗЗ (дешифрирования снимков полученных с БПЛА) показывает значительное экономическое преимущество ДЗЗ:

- стоимость 1-го N-сенсора в среднем 60 000 евро, текущие затраты включают создание калибровочных таблиц и калибровку сенсора;

- стоимость БПЛА, обеспечивающего производительность съемки 6000 га/смену, составляет 26 000 евро;

- стоимость программного обеспечения (ПО), которое обеспечивает автоматическое дешифрирование: выделяет технологические зоны, генерирует карты-задания 1500 евро;

- урожайность зерна яровой пшеницы при использовании технологий на основе проксимального зондирования на опытном участке составила 37,7 – 39,5 ц/га, при использовании ДЗЗ (БПЛА) 38,8 – 45,1 ц/га, что выше на 8,5%.

Внедрение технологий точного земледелия позволит фермерам управлять большим количеством земли, что приведет к изменениям в структуре хозяйств, процент крупных хозяйств будет расти. Эффект от внедрения технологий при этом также увеличится. Подобная тенденция наблюдается сегодня в развитых странах (James M. MacDonald, Robert A. Hoppe, Doris Newton. Three Decades of Consolidation in U.S. Agriculture // USDA Economic Information Bulletin. 2018. № 189).

### Проблемы освоения технологий ДЗЗ в сельском хозяйстве

На рис. 2 представлена цепочка технологий в системе ТЗ. Технологии ДЗЗ имеют важное значение, но их нельзя рассматривать в отрыве от всего комплекса задач.

Степень освоения технологий ТЗ в разных странах различна. Наиболее высокие показатели в США: 85% фермеров используют системы на основе GPS, 40% снимки со спутников/БПЛА, 13% проксимальное зондирование. В Европейском союзе показатели ниже. Так, например, в Великобритании приемники GPS используют 14 – 22 % фермеров, картографирование – от 11% (урожай), до 16% (внесение удобрений) – 22% (почвы) (Fountas S., Aggelopoulou K., Gemtos T.A. Supply Chain Management for Sustainable Food Networks // Precision Agriculture. 2016. P. 41 – 65. Doi: 10.1002/9781118937495.ch2).

Анализ материалов по 1591 агрохозяйству (7521 тыс. га) в 40 регионах России показал, что такие направления ТЗ как дифференцированное внесение удобрений используют 58 хозяйств (менее 4%), дифференцированный посев – 13 (менее 1%), мониторинг состояния посевов с использованием ДЗЗ – 13 (менее 1%), составление цифровых карт и планирование урожайности – 7 (0,5%), ДЗЗ (БПЛА и космические снимки) – 5 хозяйств (0,3%) (Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Санкт-Петербург, 26 – 28 сентября 2018 г. Санкт-Петербург. : ФГБНУ АФИ, 2018. 390 с.). Таким образом, можно отметить низкое проникновение технологий точного земледелия в практику российских сельхозпроизводителей.

Помимо институциональных особенностей степень освоения методов ТЗ отдельными хозяйствами зависит от ряда внутренних факторов [9]. Проникновение инновационных технологий ТЗ происходит чаще и быстрее, чем больше (выше):

- размер фермерского хозяйства;
- площадь пахотных земель;
- доля зерновых культур;
- размер посевных площадей и урожайность;
- процент молодых работников;
- уровень квалификации работников;
- обеспеченность инфраструктурой информационно-коммуникационных технологий (ИКТ-инфраструктурой: связью, интернетом);

- отношение долга к активам;
- расходы на страхование фермы.

Чем меньше доля собственности на землю у владельца фирмы, тем более эффективно внедрение технологий ТЗ.

С помощью этих характеристик можно составить эталон (benchmark) фермы, которая с вероятностью 100% будет внедрять ТЗ. Вот ее примерное описание: молодая сельскохозяйственная компания, арендующая 1000 га плодородной земли, состоящей из пахотных земель, на которых в основном выращиваются зерновые культуры, демонстрирующая стабильную высокую урожайность. Компания располагает штатом молодых высококвалифицированных специалистов, владеющих цифровыми технологиями. Компания развивается за счет привлеченных средств, вкладывает средства в страхование. Компания располагает развитой ИКТ-инфраструктурой.

Факторы, препятствующие внедрению ТЗ в России и за рубежом и влияющие на восприятие инноваций сельхозпроизводителями, по данным различных источников сгруппированы в табл. 4.

Существует разрыв между высоким теоретическим уровнем исследований, проводимых научными организациями, полученными результатами и практическим применением технологий ТЗ в условиях ферм. Для фермеров не нужны отдельные частные решения и результаты, полученные на опытных участках полей в исследовательских организациях. Требуется комплексные решения, нацеленные на решение конкретных проблем управления фермой, обеспечение измеримости, расчета управляющих воздействий и мониторинга (контроля) в процессе этого управления.

В мировой практике вопрос обеспечения удовлетворенности потребителей информационных продуктов и услуг, включая аграриев, решается разработкой сервисов на базе платформ с использованием технологий анализа больших данных, искусственного интеллекта, машинного обучения на принципах автоматизации процессов обеспечения принятия решений.

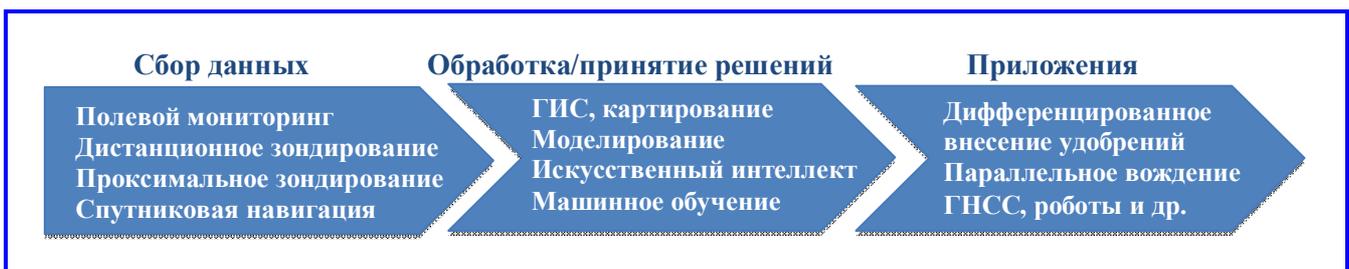


Рис. 2. Технологии точного земледелия

Таблица 4

**Факторы, препятствующие массовому внедрению точного земледелия**

Группа факторов	
Институциональные	Отсутствие программ, способствующих внедрению, субсидирующих затраты производства на цифровизацию АПК для малых и средних сельскохозяйственных товаропроизводителей
Поведенческие Мотивационные	Удовлетворенность фермера при использовании классических методов Недоверие к новой технологии Непонимание экономического эффекта Низкий уровень государственной поддержки
Кадровые	Недостаток профессиональных кадров в области цифровых технологий Дефицит на рынке труда специалистов для внедрения и обслуживания, экспертов по анализу больших данных, высокая стоимость труда этих специалистов
Экономические Финансовые Инвестиционные	Высокие инвестиции и затраты на обучение Финансовые риски, связанные с возможным прекращением использования технологий Невозможность привлечения долгосрочных инвестиций на покупку дорогостоящего оборудования, его установку, обучение и обслуживание в период эксплуатации Высокая стоимость получения информации, необходимой для составления электронных карт (карт внесения удобрений, почвенных карт, карт рельефа и др.) Продолжительность стадий инновационного цикла до начала освоения новой технологии Низкая маржинальность отрасли – непривлекательность для технологического и инфраструктурного инвестора (URL: <a href="https://geometer-russia.ru/a219849-tochnoe-zemledelie-sostoyanie.html">https://geometer-russia.ru/a219849-tochnoe-zemledelie-sostoyanie.html</a> ; <a href="https://drive.google.com/file/d/1OHwwWlpDV_AAPgOON5FB2_m6Vax488F/view">https://drive.google.com/file/d/1OHwwWlpDV_AAPgOON5FB2_m6Vax488F/view</a> )
Технологические	Сложность применяемых технологий Отсутствие совместимости различных систем и устройств, ПО Неправильное использование обильного количества данных Отсутствие интеллектуальных систем поддержки принятия агротехнических решений Затраты времени на анализ и передачу данных Отсутствие интеллектуальных систем поддержки принятия агротехнических решений Несовершенство методов распознавания, выделения границ неоднородностей посевов Сложность адаптации новых технологий Возможность получения и/или обработки информации в автоматизированном режиме Стандартизация применяемых технологий и инструментов
Инфраструктурные	Отсутствие роботизированной сельскохозяйственной техники, доступного оборудования отечественного производства Покрывание сельской местности сетями передачи данных Сбои GPS-приема
Информационные	Доступность, развитость информационного обеспечения Низкое обеспечение информацией о существующих и разрабатываемых цифровых технологиях, эффективности их применения Доступ к необходимой информации в режиме реального времени
Безопасность	Низкое доверие к общему интернет-хранилищу данных
Правовые	Невозможность легально использовать БПЛА (для РФ) по причине отсутствия законодательно установленных требований, правил и процедур сертификации и подтверждения соответствия пилотов и летной годности безвоздушных судов (БВС) (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2018 г. № 576-р)

### Пример успешной практики внедрения ТЗ

Платформа Akkerweb (URL: [www.akkerweb.eu](http://www.akkerweb.eu)) [7] – предоставляет информационную систему управления фирмами, обеспечивает доступ к внешним источникам данных, таким как погода, границы земельных участков, спутниковые данные, и данным по управлению фермами, хранению данных ГИС, карт почв, снимков БПЛА.

На основе объединения различных источников данных платформа генерирует карты-задания для тракторов для посевов, внесения удобрений и других операций. Успеху платформы способствовало то, что она принадлежит концерну, в который входит кооператив Agrifirm (Нидерланды), объединяющий более 17 000 голландских фермеров, Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр. Производители предоставляют данные своих ферм, которые используются для исследований, и сохраняют контроль над ними, а участие университета гарантирует то, что рекомендации Akkerweb являются научными и эффективными.

В России можно привести примеры инициатив сотрудничества производителей и потребителей информации ДЗЗ. Между «Российскими космическими системами», крупным научно-производственным холдингом, и ООО «Русагро-Инвест» подписан меморандум о сотрудничестве в развитии и внедрении новейших цифровых технологий в сельскохозяйственной отрасли (URL: <http://russianspacesystems.ru/2017/12/12/rksi-rusagro-obedinyayut-usiliya/>). В соответствии с меморандумом стороны планируют совместно разрабатывать программные продукты для оценки и моделирования развития земледелия с использованием технологии обработки данных ДЗЗ. Создаваемые технологии будут применяться для точного земледелия с автоматическим управлением объединенных в сети интернета сельскохозяйственных машин.

### Выводы

1. Уровень проникновения технологий ДЗЗ в сфере сельскохозяйственной отрасли достаточно высокий в развитых странах и на межправительственном уровне в практике международных инициатив, таких как GEOGLAM. Здесь можно отметить проявление в полной мере потенциала технологических драйверов цифровой эпохи, таких как платформы, сетевые технологии и облачные вычисления.

2. В России роль ДЗЗ при принятии решений в интересах сельского хозяйства растет на государственном уровне, чему способствует создание Единой федеральной информационной системы о

землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий.

3. Несмотря на положительный международный опыт степень проникновения технологий ДЗЗ в рамках концепции ТЗ в практику работы российских агропредприятий крайне низка. При этом проблема внедрения технологий ДЗЗ в сельскохозяйственное производство не может рассматриваться отдельно от проблем внедрения всего комплекса технологий точного земледелия.

4. Для принятия управленческих решений по созданию условий для внедрения новых технологий необходима оценка зрелости технологий ТЗ к внедрению, которая должна включать анализ всех факторов, политических, экономических, финансовых, технологических, кадровых, от которых в наибольшей степени зависит успех внедрения.

5. Необходимы целенаправленные усилия в виде законов, государственных программ, мер поддержки в рамках развития концепции цифровой экономики России для создания «условий инфраструктурного характера

*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

1. Использование материалов дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФС ЗСН) / И. С. Козубенко, Р. Р. Бегляров, Н. М. Вандышева [и др.] // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Санкт-Петербург, 26 – 28 сентября 2018 г. – Санкт-Петербург: ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 19 – 25.
2. Сравнительная оценка эффективности агроприемов прецизионного управления азотным режимом яровой пшеницы на основе проксимального и аэрозондирования посевов / Д. А. Матвеев, В. В. Якушев, В. П. Якушев // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Санкт-Петербург, 26 – 28 сентября 2018 г. – Санкт-Петербург: ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 238 – 242.
3. Мониторинг сельскохозяйственных земель при помощи беспилотных летательных аппаратов и использование его результатов в землеустроительном проектировании на примере Меньковского филиала Агрофизиче-

ского научно-исследовательского института / А. И. Салаева // Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Санкт-Петербург, 26 – 28 сентября 2018 г. – Санкт-Петербург : ФГБНУ АФИ, 2018. – С. 89 – 92.

4. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? / A. F. Colaço, R. G. V. Bramley // Field Crops Research. – 2018. – Vol. 218. – P. 126 – 140.

5. Benchmark of Satellites Image Services for Precision Agricultural use / M. Sozzi, F. Marinello, A. Pezzuolo [et al.] // In Proceedings of conference «European Society of Agricultural Engineers». – Wageningen, Netherlands, 2018. – P. 1 – 6.

6. Adoption of Precision Agriculture Technology: A Duration Analysis / T. W. Griffin, E. A. Yeager // In Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. – Montreal, QC Canada, 2018. – P. 41 – 49.

7. Akkerweb: a platform for precision farming data, science, and practice / F. K. Van Evert, T. Been, A. J. Booij [et. al.] // In Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. – Montreal, QC Canada, 2018.

8. An economic value of remote-sensing information – Application to agricultural production and maintaining groundwater quality / W. M. Forney, R. P. Raunikar, R. L. Bernknopf [et. al.] // U.S. Geological Survey Professional Paper. – 2012. – № 1796. – 60 p.

9. The Impact of Precision Agriculture Technologies on Farm Profitability in Kansas / S. P. Dhoubhadel, T. W. Griffin // In Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture. – Montreal, QC Canada, 2018.

10. Typology Of Farms And Regions In EU States Assessing The Impacts Of Precision Farming-technologies / L. Herold, B. Poelling, A. Wurbs [et. al.] // EPRS. – 2016.

Поступила в редакцию 12.06.2019

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

**Юрий Владимирович Денисов**, кандидат технических наук,  
директор по развитию, e-mail: [vlade187@mail.ru](mailto:vlade187@mail.ru).  
(ООО «ТЕРА ВИЖН»).

**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](mailto:kovkov-dv@rudn.ru).  
(ООО «Институт физико-технологических исследований»).

**Алексей Евгеньевич Скляр**, аспирант, e-mail: [a.e.sklyarov@gmail.com](mailto:a.e.sklyarov@gmail.com).  
(ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»).

## EARTH REMOTE SENSING AND MODERN MANAGEMENT CONCEPTS IN THE AGRICULTURAL INDUSTRY

**E. V. Butrova, Iu. V. Denisov,  
G. V. Kovkov, A. E. Skliarov**

*The article deals with the problems of development of digital technologies in the agricultural industry in terms of mastering of Earth remote sensing technologies. The agricultural industry is a potential high-capacity sector of the ERS data market. Development of geo-information, navigation and communication technologies that are complementary to the Earth remote sensing, as well as platform and network solutions ensure fulfillment of a wide range of tasks related to management of the agricultural sector of economics on the international, regional, national levels and within the framework of individual agricultural enterprises. The ERS technologies are, in turn, an integral part of the set of precision farming technologies. The issues concerning the economic efficiency of Earth remote sensing are considered in the article. The results of analysis of the existing problems related to introduction of digital technologies in the agricultural industry according to the global and Russian experience are presented. The main internal and external factors are formulated.*

**Key words:** agricultural industry, digital technologies, Earth remote sensing, precision farming, spacecraft, unmanned aerial vehicle.

### References

1. Use of Earth remote sensing data in the Unified Federal Information System for Agricultural Lands (UFIS AL) / I. S. Kozubenko, R. R. Begliarov, N. M. Vandysheva [et al.] // Proceedings of II<sup>nd</sup> All-Russia Scientific Conference with International Participation 'Use of Earth Remote Sensing in Agriculture'. St. Petersburg, September 26 – 28, 2018. – St. Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2018. – P. 19 – 25.
2. Comparative evaluation of efficiency of agro-techniques used for precision management of nitrogen status of spring wheat on the basis of proximal and air sounding of crops / D. A. Matveenko, V. V. Iakushev, V. P. Iakushev // Proceedings

- of II<sup>nd</sup> All-Russia Scientific Conference with International Participation ‘Use of Earth Remote Sensing in Agriculture’. St. Petersburg, September 26 – 28, 2018. – St. Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2018. – P. 238 – 242.
3. Monitoring of agricultural lands by unmanned aerial vehicles and application of its results in land use designing as illustrated by the example of Menkovo branch of the Agrophysical Research Institute / A.I. Salaeva // Proceedings of II<sup>nd</sup> All-Russia Scientific Conference with International Participation ‘Use of Earth Remote Sensing in Agriculture’. St. Petersburg, September 26 – 28, 2018. – St. Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2018. – P. 89 – 92.
4. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? / A. F. Colaço, R. G. V. Bramley // Field Crops Research. – 2018. – Vol. 218. – P. 126 – 140.
5. Benchmark of Satellites Image Services for Precision Agricultural Use / M. Sozzi, F. Marinello, A. Pezzuolo [et al.] // In Proceedings of conference ‘European Society of Agricultural Engineers’. – Wageningen, Netherlands, 2018. – P. 1 – 6.
6. Adoption of Precision Agriculture Technology: A Duration Analysis / T. W. Griffin, E. A. Yeager // In Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture. – Montreal, QC Canada, 2018. – P. 41 – 49.
7. Akkerweb: a platform for precision farming data, science, and practice / F.K. Van Evert, T. Been, A.J. Booij [et. al.] // In Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture. – Montreal, QC Canada, 2018.
8. An economic value of remote-sensing information – Application to agricultural production and maintaining groundwater quality / W. M. Forney, R. P. Raunekar, R. L. Bernknopf [et. al.] // U.S. Geological Survey Professional Paper. – 2012. – № 1796. – 60 p.
9. The Impact of Precision Agriculture Technologies on Farm Profitability in Kansas / S. P. Dhoubhadel, T. W. Griffin // In Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture. – Montreal, QC Canada, 2018.
10. Typology Of Farms And Regions In EU States Assessing The Impacts Of Precision Farming Technologies / L. Herold, B. Poelling, A. Wurbs [et. al.] // EPRS. – 2016.

**Elena Viktorovna Butrova**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor,  
e-mail: [evbutrova@gmail.com](mailto:evbutrova@gmail.com).

(Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University)).

**Iurii Vladimirovich Denisov**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),  
Director for Development, e-mail: [vlade187@mail.ru](mailto:vlade187@mail.ru).

(JSC «TERRA VISION»).

**George Vladimirovich Kovkov**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor,  
Deputy Director General for Science, tel.: +7 (495) 331-20-00, e-mail: [kovkov-dv@rudn.ru](mailto:kovkov-dv@rudn.ru).

(JSC «Institute of Physico-technological Research»).

**Aleksei Evgenevich Skliarov**, Ph. D. Student, e-mail: [a.e.sklyarov@gmail.com](mailto:a.e.sklyarov@gmail.com).  
(Peoples’ Friendship University of Russia (RUDN University)).