## БЕСПИЛОТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АПК – ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОСТРЕБОВАН-НОСТЬ НА РЫНКЕ

**Фахрутдинов Рустам Равильевич** главный инженер компании «ПромАэро»

Email: rustamvolga@gmail.com

**Барышников Николай Автандилович** инженер компании «ПромАэро»

Email: baryshnikov-nik@mail.ru

**Гусева Светлана Андреевна** агрономаналитик компании «ПромАэро»

Email: <a href="mailto:svetkag93@rambler.ru">svetkag93@rambler.ru</a>

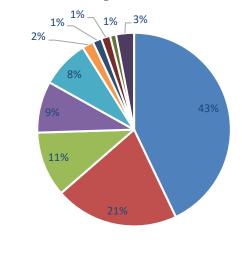
ул. Тихвинская, 24-а, оф. 501, Самара, Самарская обл., 443011

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка, мультиспектральная камера, вегетационный индекс, NDVI.

Проведен обзор зарубежных и отечественных источников о практическом применении аэрофотосъемки при помощи БПЛА в сельском хозяйстве, и анализ востребованности этих технологий на российском рынке.

В последние годы идет активное внедрение беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА) в различные сферы производства [2].

## Области применения БПЛА



- Фото- видео съемка 
  Недвижимость
- Коммунальные услуги Строительство
- Сельское хозяйствоОбразованиеПроизводствоЧС
- Страхование Другое

На сегодняшний день идет обсуждение, насколько беспилотные технологии востребованы в сфере АПК для решения задач

сельского хозяйства. В таких развитых странах как Австралия, Канада, США давно говорят о положительном экономическом эффекте беспилотных технологий.

Есть опыт применения этих технологий и в России. Изучив различные источники, понятно, что это скорее опытно-экспериментальные работы, и о широком внедрении в производство только начинают говорить.

Чтобы разобраться в реальной востребованности беспилотной аэрофотосъемки, мы изучили опыт применения БПЛА зарубежных и отечественных сельхозпроизводителей и исследователей.

# Основные группы пользователей БПЛА в АПК:

- сельхозпроизводители, агрономы;
- научно-исследовательские институты;
- продавцы\дилеры сельхоз оборудования, семян, удобрений;
  - страховые компании;
- сервисные компании, предоставляющие агросопровождение хозяйствам;

В использовании беспилотной аэрофотосъёмки для сельскохозяйственных целей наиболее перспективны следующие направления: построение цифровых моделей рельефа, анализ неоднородности плодородия земель по спектральным характеристикам, контроль работы дренажных систем, оценка вариабельности посевов по вегетационным индексам, выявление повреждений растительности от внешних воздействий.

# Основные случаи применения БПЛА: 1. Простой облет и съемка поля.



Рисунок 1: Пример простого обследования

Это включает в себя простые пролеты БПЛА над полем для просмотра, съемки и воспроизведения цветных изображений или видео высокой четкости, которые могут предоставить много полезной информации.

**Ключевые решаемые задачи:** Такой облет позволяет провести осмотр всех угодий, выявить проблемные области, принять решение по причинам возникновения проблемы, организовать наблюдение таких зон.

#### 2. Осмотр систем орошения

Управление системой орошения является трудоемкой задачей — особенно для крупных производителей, которые имеют много полей, разбросанных по разным районам. Механизатору и агроному требуется потратить немало усилий и времени для осмотра правильной работы оросительных форсунок и оросителей.



Рисунок 2: Обследование системы орошения

**Ключевые решаемые задачи:** Инспекция работы поливочного оборудования и самого процесса полива — качественно и в оптимальные сроки [4].

### 3. Точечное орошение.

Современные производители дронов выпускают специальные аппараты для адресного орошения пестицидами или удобрениями. Мощный коптер в состоянии доставить 10-40 литров рабочего раствора и рассеять его путем удаленного контроля.



Рисунок 3: Опрыскивание коптером MG-1

**Ключевые решаемые задачи:** Точечное и оперативное внесение пестицидов и удобрений.

#### 4. Полевые изыскания.

**4.1.** Создание ортофотопланов и электронных карт. Это уже профессиональное решение. Одним из основных материалов, получаемых в результате аэрофотосъемки является ортофотоплан - фотографический план местности на точной геодезической опоре, который может успешно использоваться при топографических, геологических и других проектно - изыскательских работах.



Рисунок 4: Пример ортофотоплана, выполненный компанией "ПромАэро"

Весь процесс получения ортофотоплана можно разделить на три основных этапа:

- 1. Подготовительный. Готовится маршрут полета БПЛА, определяются оптимальная высота, скорость полета, площадь охватываемой территории, параметры перекрытия фотографий.
- 2. Аэрофотосъемка. БПЛА в автоматическом режиме совершает полет по заданному маршруту и фотографирование местности. Результатом является набор фотографий, а также координаты и параметры положения БПЛА в момент фотографирования, которые используются для обработки и создания ортофотоплана.
- 3. Обработка исходных данных в специальных фотограмметрических программах, процесс состоит из таких операций:
- a) импорт исходных изображений и метаданных в программу;
  - б) выравнивание фотографий (камер);
  - в) построение плотного облака точек;

- г) создание 3D модели и построение ортофотоплана и цифровой модели поверхности:
- д) экспорт результатов для анализа данных, например, в ГИС.

Ключевые решаемые задачи: Определение точных границ поля, инвентаризация; выявление неиспользуемых земель, участков зарастания или деградации; выявление факторов несанкционированного использования или засорения земель; достоверный картографический материал для землеустроительного проектирования; разрешение судебных споров, связанных с землепользованием, нанесенным ущербом.

4.2. Цифровая модель местности. Кроме ортофотоплана в процессе обработки аэрофотоснимков можно получить цифровую модель местности (ЦММ), на основе которой можно создать такие продукты как: карты условий освещенности и экспозиции склонов (планирование и научно обоснованное ведение сельского хозяйства с учетом характеристик радиационного режима, а также влияния рельефа на распределение солнечной радиации); карты абсолютных высот местности (ЦММ предназначены для определения общих особенностей рельефа местности, а так-

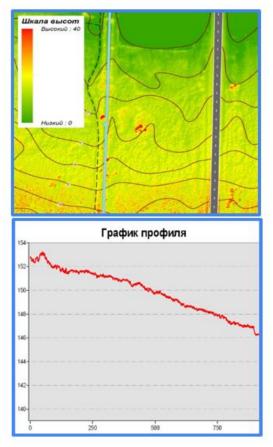


Рисунок 5: Карта высот местности (сверху) и график профиля поля, выполненные компанией "ПромАэро"

же выявления зон потенциальной деградации земельных ресурсов; карты крутизны склонов, горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа (оценка пригодности условий рельефа местности для того или иного типа землепользования, оценка направления вещественного переноса, включая поверхностный сток, а также характер развития экзогенных процессов в целом); карты линейной эрозии и плоскостного смыва (позволяет запланировать противоэрозионные мероприятия, и разработать методики по обработке почвы и внесению удобрений); карты гидроморфности почвенного покрова (позволяет производить выделение участков потенциального переувлажнения и вымокания посевов).

#### 5. Мониторинг полей

**5.1.** Мониторинг в видимом спектре. Применение камер высокого разрешения от 5см\пиксель, позволяет оперативно обследовать большие массивы полей. Результатом обследования будет фоторяд или ортофотоплан. Организация мониторинга происходит наиболее эффективно при наличии сервиса геоаналитических данных (космоснимков). В таком случае, мониторинг производится адресно, начиная с проблемных участков.

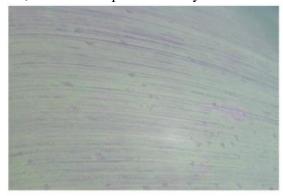


Рисунок 6: Участки посевов озимой ржи, уничтоженные мышами

**5.2.** Мониторинг с применением мультиспектральной камеры. Именно этот вид съемки позволяет значительно расширить область применения беспилотных технологий. Это объясняется возможностями мультиспектральной камеры. При мультиспектральной съемке формируются одновременно несколько изображений одной и той же территории в различных зонах спектра электромагнитного излучения. Ключевую роль играет аналитика этих данных. Различные комбинации этих изображений позволяют выявить процессы и явления, которые сложно или невозможно определить на снимке в видимом спектре.

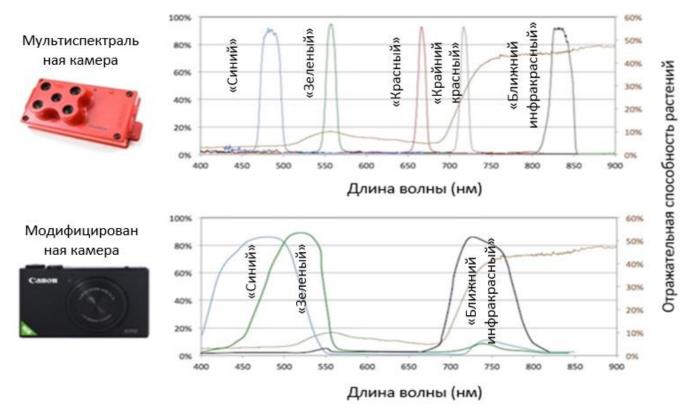


Рисунок 7: Разница между мультиспектральной и модифицированной камерами

Более подробно о мультиспектральной съемке говорится в статье компании ПромАэро «Опыт применения мультиспектральной съемки в области сельского хозяйства».

На сегодняшний день на БПЛА могут устанавливаться два типа камер: модифицированные или мультиспектральные.

В модифицированной камере линза изменена таким образом, чтобы фиксировать отражение в ближней инфракрасной области спектра. Такие камеры дешевле и более доступны, но в данных может присутствовать «шум», который негативно скажется на качестве интерпретации.

В мультиспектральной камере количество линз может доходить до 12 (Теtracam Mini-MCA12), в которой каждая линза регистрирует излучение в узкой области спектра, исключая возможный «шум» (рис.7). В отличие от модифицированных камер, мультиспектральные позволяют получать гораздо больше комбинированных изображений, и рассчитывать большее количество индексов. Однако, стоимость таких камер гораздо выше модифицированных, и для обработки снимков нужно обладать необходимыми навыками и более продвинутым программным обеспечением для обработки мультиспектральных данных.

В основе мультиспектральной съемки лежит тот факт, что высокая фотосинтетическая активность, как правило, связанная с густой растительностью,

приводит к уменьшению отражательной способности объекта в красной зоне спектра и к увеличению в зоне ближнего ИК. Благодаря этому, появляется возможность на основе воздушных проводить съемок картирование покрова, растительного выявлять площади, покрытые и непокрытые растительностью, оценивать плотность, всхожесть, состояние растений, а с помощью регулярного мониторинга наблюдать развитие процессов в динамике.

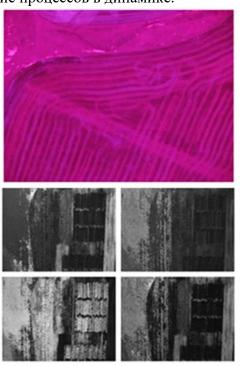


Рисунок 8: Пример изображений с модифицированной (сверху) и мультиспектральной (снизу) камер

Как уже было сказано, наличие снимков в нескольких каналах позволяет использовать различные формулы обработки данных, что приводит к разнообразию получаемых вегетационных индексов. Наибольшее распространение среди мультиспектральных камер для БПЛА получили 4-х- или 5-и канальные камеры с синим, зеленым, красным, крайним красным и инфракрасным диапазоном.

Компания «ПромАэро» производит аэрофотосьемку с использованием мультиспектральной камеры. Разрешение съемки составляет 15-20 см\пиксель при высоте съемки 200м. Имея данные мультиспектральной съемки, можно рассчитать множество вегетационных индексов:

Нормализованный индекс биомассы (Normalized Difference Vegetation Index NDVI) – позволяет проводить качественную и количественную оценку объема биомассы, оценивать интенсивности вегетации растений.

Улучшенный Нормализованный индекс биомассы (Enhanced Normalized Difference Vegetation Index ENVI) - подобно NDVI, но используется также и часть видимого спектра для более эффективного показания состояния здоровья растений.

Зеленый нормализованный индекс биомассы (Green Normalized Difference Vegetation Index GNDVI) — позволяет оценить содержание хлорофилла, степень старения, наличия стресса у растения. Полезно использовать на поздней стадии роста для определения начала сбора урожая.

Дифференцированный вегетационный индекс (Difference Vegetation Index DVI) - позволяет определить области затемнения, застоя воды, почвы и растительности.

Зеленый дифференцированный вегетационный индекс (Green Difference Vegetation Index GDVI) — показывает количество азота в листьях, что может оптимизировать внесение удобрений исходя из реальных потребностей.

Стоит упомянуть о все большем применении автоматизированных методов определения типа растительности. В частности, говорится об идентификации сорняков на ранней стадии развития культурных растений (рис.9).

Для мониторинга садов и парков используют статистику по плодовокустарниковым культурам.

В основе расчета лежит технология «идентификация объекта по фотообразу»

(рис.10). В ходе обработки съемки автоматически идентифицируются отдельные кроны деревьев. Также создается геопространственный слой крон деревьев с общим анализом состояния дерева, диаметра кроны, а также средних значений индекса растительности [5].

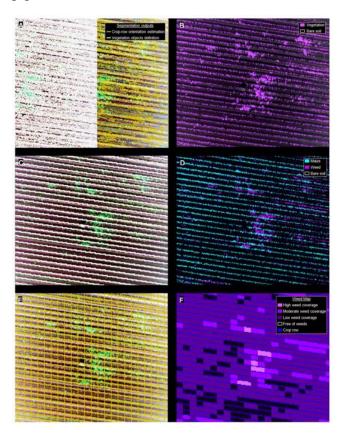


Рисунок 9: Процедура дешифрирования сорняков на каждом шаге



Рисунок 10: Идентификация объектов по фотообразу

Ключевые решаемые задачи: анализ всхожести; оценка перезимовки озимых; определение оптимальных сроков уборки урожая; прогнозирование урожайности; зонирование участков, засоренных сорняками или пораженных болезнями и вредителями с подготовкой электронных файлов в любых форматах (например, «shape»). По результатам аэрофотосъёмки за несколько минут может быть сформирован файл-предписание для внесения азотных подкормок по технологии offline с учетом неоднородности посева.

В сравнении с наземными датчиками, съемка с БПЛА предоставляет аналогичные данные о состоянии полей. Мониторинг посевов озимой пшеницы в разные фазы развития в МСХА имени К.А. Тимирязева показали, что с применением аэрофотосъемки достигается воспроизводимая картина пространственного распределения индекса NDVI, в высокой степени совпадающая с результатами наземного датчика GreenSeeker® RT200. Это позволяет использовать беспилотную съёмку в качестве альтернативы обследования оптическими наземными датчиками.

Кроме этого, были получены аналогичные результаты в университете сельского хозяйства, продовольствия и окружающей среды, г. Пиза, где были проведены опыты по сравнению спектральной отражательной способности, полученные с БПЛА и наземного датчика [1,3].

Выше упомянутые возможности применения БПЛА предоставляют значительный интерес и имеют серьезный потенциал в сельском хозяйстве.

Специалисты компании «ПромАэро» в сезоне 2016 года опробовали методики по съемке в ИК диапазоне и аналитике этих данных с построением карт неоднородностей. Первые результаты были с интересом восприняты и нашли свое решение в ряде хозяйств Самарской области.

Начиная с сезона 2017 года, компания «ПромАэро» представит съемку сразу двумя камерами – пятиканальной спектральной камерой и беззеркальной цифровой камерой разрешением 24Мп. БПЛА самолетного типа позволит снимать за один полет площадь в 250 - 500 га за один полет, или около 5000 га в день.

Именно такая комбинация данных даст возможность аграрию комплексно изу-

чить состояние растительности. Имея набор карт в планшете, агроном сможет точечно изучить интересующий его участок, оптимизировать работы по дифференцированному внесению пестицидов, удобрений, организовать агрохимическое обследование и другие операции.

### Организация мониторинга.

Говоря о мониторинге полей с применением БПЛА, следуют искать наиболее рациональные и экономически эффективные методы организации. Процесс развития растительности имеет несколько стадий, и необходимо понимать, на каком именно этапе целесообразно использовать аэросъемку. Достаточно ли произвести разовую съемку для оценки всхожести озимых или же нужно выполнять ее периодически – ответы на эти вопросы зависят от конкретной культуры, истории ее развития, а также от экономической целесообразности.

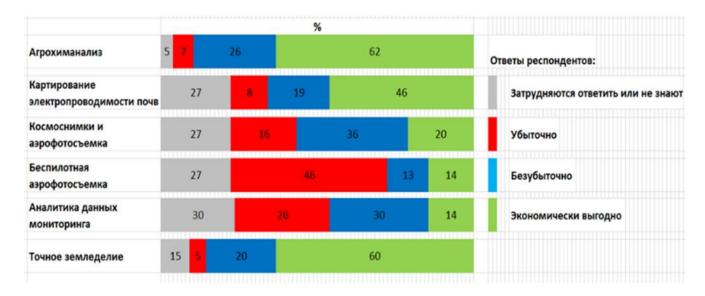
На наш взгляд, наилучшим комбинацией по организации мониторинга является применение ГИС-сервиса геоданных, где в основе лежит предоставление комплекса интерпретированных данных космоснимков, периодически (раз в 1-2 недели) обновляемых.

Компания ПромАэро с целью демонстрации возможностей сервиса геоданных, предложила участие в пилотном проекте восьми фермерским хозяйствам Самарской области, где на основе ГИС-сервиса были продемонстрированы возможности предоставления геоаналитических данных. Более того, ГИС-сервис компании позволяет подгружать и собственные ортофотопланы. В планах предоставить мобильное решение в сезоне 2017 года.

Получены первые положительные отзывы, более того, хозяйства намерены продолжить участие в проекте и подключить к сервису более 10000 га своих полей.

#### Экономическая эффективность

Компании, предоставляющие услуги по беспилотной аэрофотосъемке, могут декларировать те или иные услуги, но сельхозпроизводитель в первую очередь заинтересован в экономической целесообразности применения беспилотных технологий. И этот вопрос актуален как для зарубежных фермеров, так и для отечественных.



Выше представлены данные, Министерства сельского хозяйства США, по оценке экономической эффективности различных методов агрономического сопровождения. Статистику такого рода по России сложно найти, однако, данные одной из самых развитых в сельском хозяйстве страны очень информативны.

В США производится и покупается 35% всех гражданских дронов, где из общего количества, около 50% пользователей приходятся на аграрный сектор. США является одним из лидеров по всем основным методикам агрономического сопровождения. Кроме этого агротехнический уровень самого производства в США принимается как высокий.

Если говорить про экономическую эффективность применения беспилотных технологий, то с одной стороны мы видим, что около половины пользователей (46%) считают их применение невыгодным, тогда как каждый 7 опрошенный считает эти технологии эффективными и столько же считает безубыточными. Если представить, что 10 лет назад эти технологии были неизвестны, то, как минимум, четверть агрохозяйств уже используют БПЛА в своем производстве.

Можно также сделать вывод, что 46 % считают убыточными эти технологии исходя из конкретных условий - вид возделываемой культуры, специфика поля, методика использования БПЛА. Новизна технологий и определенный консерватизм фермеров также имеет место быть. Нужно также подчеркнуть, что сами беспилотные технологии бурно развиваются и их внедрение носит зачастую опытный характер. Тем не менее стоит отметить высокий спрос БПЛА и применение их в сельском хозяйстве, из чего следует перспективное развитие их в этой сфере.

#### Заключение

Представленная в статье информация основана на углубленном анализе многочисленных публикаций, в большей степени зарубежных. Специалисты компании «ПромАэро» в сезоне 2016 года опробовали методики по съемке в ИК диапазоне и аналитике этих данных с построением карт неоднородностей, и последующим зонированием.

Компания «ПромАэро» продолжает изучение темы применения БПЛА в сельском хозяйстве, и мы убеждены, что эти технологии найдут применение и в России.

## Список литературы:

- 1. Железова С.В., Ананьев А.А., Вьюнов М.В., Березовский Е.В. Мониторинг посевов озимой пшеницы с применением беспилотной аэрофотосъемки и оптического датчика GreenSeeker RT200 // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 6. С. 56-61
- 2. Andrew Meola Here's what to expect from the FAA's upcoming drone regulations // Режим доступа: <a href="http://www.businessinsider.com/heres-what-to-expect-from-the-faas-upcoming-drone-regulations-2016-5">http://www.businessinsider.com/heres-what-to-expect-from-the-faas-upcoming-drone-regulations-2016-5</a>
- 3. Caturegli L, Corniglia M, Gaetani M, Grossi N, Magni S, Migliazzi M, et al. (2016) Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses. PLoS ONE 11(6): e0158268. doi:10.1371/journal.pone.0158268
- 4. Colin Snow, CEO and Founder of Skylogic Research // The Truth about Drones in Precision Agriculture. They're great scouting tools, but can they unseat the incumbents? Режим доступа: <a href="http://www.angeleyesuav.com/wp-content/uploads/2016/08/TheTruthAboutDrones\_ag.pdf">http://www.angeleyesuav.com/wp-content/uploads/2016/08/TheTruthAboutDrones\_ag.pdf</a>
- 5. Peña JM, Torres-Sánchez J, de Castro AI, Kelly M, López-Granados F (2013) Weed

Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. PLoS ONE 8(10): e77151. doi:10.1371/journal.pone.0077151