

**УДК: 635.154, 631.95****ГРЕКОВ О.А., к.в.н., доцент, РГУНХ, г. Балашиха****ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ АГРОКУЛЬТУР  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГРОБИОФОТОНИКИ**

В настоящее время проблеме экологической безопасности уделяется огромное внимание на всех уровнях государства и во всех секторах промышленности, включая аграрный [3]. Следуя концепции устойчивого развития бизнеса (ESG-принципам), в том числе и в сельском хозяйстве, ученые исследуют направления повышения урожайности агрокультур с одновременным снижением загрязнения сельскохозяйственных угодий избыточным количеством удобрений и пестицидов. Одним из таких направлений выступает использование возможностей фотоники для повышения экологичности производства агрокультур.

Растения в течение своего развития постоянно находятся во взаимодействии с внешней средой. Требования растений к условиям произрастания определяются их генетикой. Каждому виду растений необходимы определенное количество лучистой энергии Солнца (света), воды, разных химических элементов и соединений, определенный газовый состав и температура атмосферного воздуха, состояние почвы.

Солнечный свет - важнейший природный фактор, определяющий развитие растения. Свет представляет собой излучение Солнца в виде электромагнитных волн определенной длины в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, что является предметом изучения фотоники.

С конца 90-х годов прошлого столетия в фотонике и одновременно в биологии появился интерес к исследованию электромагнитного излучения растений на разных этапах их созревания в течение вегетационного периода. Далее исследователей заинтересовала возможность изменений параметров и характеристик света (солнечного и искусственного) с целью оценки влияния этих изменений на фотосинтетическую активность растений, особенно на те виды, которые имеют определенное хозяйственное значение. Появились методики управления светом, обеспечивающие устойчивый (управляемый) рост растений и формирование урожайности агрокультур [2].

Практика показала, что эти методики имеют высокую значимость как для оценки степени созревания агрокультур на сельскохозяйственных площадях, так и для управления ростом растений в искусственных условиях (оранжереях и теплицах), что важно в межсезонье для стран, на территории которых вегетационный процесс имеет ограниченные сроки, в частности, для Российской Федерации.

Это привело к формированию агробιοфотоники – относительно нового направления в прикладной науке, объединяющего исследования в области физики (фотоники), биологии и агрономии. Одной из задач агробιοфотоники является выяснение того, как свет влияет на ДНК, расположенную в ядре клетки растения, и как за счет изменения светового потока (его силы и состава) ускорить

рост и урожайность агрокультур.

Свет в качестве катализатора оказывает влияние на процесс фотосинтеза, в результате которого образуется органическое вещество. Кроме того, свет стимулирует процессы в клетках и тканях, обеспечивая рост как растений, так и их частей. Если свет не воздействует на растения, то они не цветут и, естественно, не плодоносят. При недостатке света у зерновых культур наблюдаются отклонения от нормального развития, а это сказывается на качестве урожая. Все растения в той или иной степени реагируют на изменение освещенности, в том числе и на суточное. Такая реакция называется фотопериодизмом. Следовательно, спектральный состав света, его интенсивность, суточное и сезонное изменение освещенности активно влияют на формирование хлорофилла и процесс морфогенеза.

Есть определенная закономерность во влиянии объема хлорофилла в разных частях растения, которое определяется их поверхностью, на степень поглощения электромагнитных волн в инфракрасном диапазоне и отражения в ближнем инфракрасном. Для определения степени развития растительности разработан специальный показатель NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Чем больше листовая поверхность растений и чем больше хлорофилла в листьях, тем сильнее растения поглощают электромагнитные волны в красном диапазоне и отражают волны в ближнем инфракрасном.

Это относительный количественный вегетационный индекс, измеряемый от -1 до +1. У растительности показатель NDVI имеет положительные значения (примерно от 0,2 до 0,9). Чем больше объем зелёной фитомассы, тем ближе значение NDVI к единице, а отрицательные значения говорят о частичном или полном отсутствии фотосинтеза (рис. 1).



Рисунок 1. Цветовая шкала индекса NDVI

Кроме того, на разных этапах развития растений хлорофилл имеет разные спектральные характеристики излучения, что можно использовать для оценки степени созревания растений и что может быть определено различным радиотехническим оборудованием, основанном на реализации методов мультиспектральной и гиперспектральной съемки [1].

Гиперспектральная съемка представляет собой современный цифровой метод обработки информации с различных участков электромагнитного спектра. Каждый биологический объект имеет свою уникальную спектральную характеристику излучения, что позволяет однозначно идентифицировать его и его структуру. Гиперспектральные датчики получают и накапливают информацию в виде комплекса изображений, при этом каждое изображение представляет определенную область электромагнитного спектра.

Гиперспектральное изображение — это трехмерный массив данных, включающий в себя пространственную информацию (2D) о посевах агрокультур, дополненную спектральной информацией (1D) по каждой культуре. Каждой точке

изображения соответствует спектр, полученный в этой точке исследуемого вида растительности. При гиперспектральном формировании изображений, как и при спектральном формировании изображений, собирается и обрабатывается информация по всему электромагнитному спектру.

До появления технологии гиперспектральных снимков для получения информации о состоянии растительной части агроценозов применялись технологии получения мультиспектральных изображений оптическими методами дистанционного зондирования земли с помощью цветных светофильтров.

Съемка ведется одновременно в видимом спектре и ближнем инфракрасном, что позволяет получать изображение участка местности в удобном для восприятия виде и в цветовой гамме, характеризующей те или иные физические процессы. Мультиспектральный датчик формирует несколько изображений от видимого до инфракрасного спектра, а гиперспектральный одновременно формирует изображения на всех участках спектрального диапазона (рис. 2).



Видимый диапазон

Ближний ИК-диапазон

Гиперспектральная съемка  
с показателем NDVI

Рисунок 2. Изображения при мультиспектральной и гиперспектральной съемке

В настоящее время наиболее эффективной методикой получения необходимых данных о состоянии земной поверхности являются формирование и анализ гиперспектральных моделей. Эта методика позволяет получать точную и детальную информацию о спектрах излучения агрокультур, что позволяет обнаружить изменения спектральных свойств одной или нескольких исследуемых группировок. При мониторинге сельскохозяйственных площадей с помощью гиперспектральной съемки могут быть решены следующие задачи:

1. Оценка качества почв и тенденции к их изменению на основе получения показателей почв, которые характеризуют загрязненность почв химическими соединениями, влагооборот, сезонные подтопления, заболачивание, состояние снежного покрова в зимний период и др.
2. Уточнение и актуализация существующих посевных площадей, картографирование, выявление ухудшения состояния группировок агрокультур.
3. Оценка поэтапного состояния посевов, степени их созревания, выявление рисков повреждения и гибели посевов вследствие заражения паразитами и картографирование зоны поражения, прогноз урожайности.

С помощью мультиспектральной съемки можно определить степень созревания культур и, в конечном счете, рассчитать урожайность [4]. Исследования

показали, что разница между прогнозируемыми значениями урожайности и фактическими колеблется от 7,9 до 13,5% (изображения landsat-8, разрешение 30 м) и от 3,8 до 10,2% (изображения Sentinel-2, разрешение 10 м).

Комплексное применение аэрокосмических средств, в т.ч. и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), с одной стороны, значительно повышает оперативность получения информации о состоянии агроценозов и снижает использование автотранспорта, повышая экологичность мониторинга. С другой стороны, это ведет к значительной экономии сил и средств, выделяемых для мониторинга состояния агроценозов на различных стадиях созревания растительных группировок, позволяет прогнозировать урожайность культур и сроки их уборки, выявлять процессы деградации земельных ресурсов, определять потенциальные угрозы для посевов и решать многие другие задачи.

Разработанные агробиофотоникой методики и рекомендации по спектральной стимуляции потенциальных возможностей агрокультур способны значительно увеличить их урожайность с обеспечением экологических требований, без широкого применения удобрений и пестицидов. К примеру, в процессе исследований [2] было определено, что в теплицах светодиодная подсветка (рис. 3) в определенных диапазонах и режимах может сократить сроки созревания агрокультур в 1,2-1,5 раза с одновременным улучшением их вкусовых качеств.



Рисунок 3. Светодиодные лампы для теплиц

Можно использовать не только светодиодное освещение в определенном спектральном диапазоне, но и другие технологии, способные повлиять на изменение спектра солнечного света. Например, задействовать светотрансформирующие плёнки, включая применение в них «квантовых точек», представляющих собой нанокристаллы полупроводникового материала, размеры которых составляют от 2 до 10 нанометров. Особенностью этих кристаллов является свечение под воздействием тока или света. Ключевой их особенностью является то, что цвет излучения зависит от размера кристалла и материала, из которого он изго-

товлен. Большие кристаллы излучают красный свет, средние - зелёный, малые - синий. «Квантовые точки» в системах освещения стимулируют рост растений и повышают урожайность. При этом красный свет (600–700 нм) стимулирует удлинение стеблей и увеличение листовой площади, а синий свет (400–500 нм) укрепляет корневую систему и повышает плотность листьев. «Квантовые точки» днём преобразуют солнечный свет в излучение нужного спектрального состава, а часть энергии аккумулируют. А вечером, когда естественного освещения уже не хватает, они добавляют подсветку нужного спектра. Светотрансформирующие покрытия теплиц (оранжерей) улучшают фотосинтез за счет настраиваемой флуоресценции и максимизируют преимущества естественного света для роста растений и повышения урожайности агрокультур.

Еще одним направлением агробиофотоники является использование света для стимулирования роста микроорганизмов в почве. Это обеспечивает ее плодородие без внесения искусственных удобрений, снижающих экологичность процесса выращивания агрокультур.

Исходя из вышесказанного, применение методов агробиофотоники позволяет:

1. Осуществлять мониторинг состояния почв, процесс развития посевных культур, картографирование сельскохозяйственных угодий, процесс развития агрокультур в вегетационный период, своевременно применять стимулирующие действия, прогнозировать урожайность. Применение БПЛА позволяет повышать оперативность получения информации о состоянии угодий и посевов, экономичность и экологичность при проведении мониторинга.

2. Повышать урожайность агрокультур без широкого применения искусственных удобрений и средств борьбы с паразитами (пестицидов и гербицидов), что обеспечивает высокую экологичность процесса выращивания агрокультур.

#### Список литературы:

1. Греков О.А. Совершенствование способов контроля за состоянием агроценозов современными техническими средствами. Статья // Вестник охотоведения. 2019, том 16, № 1, С. 58-67.
2. Как аграрии могут получать высокие урожаи без химии. 06 февраля 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://www.belpressa.ru/30267.html?ysclid=mg802qbefn368623412#>
3. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года. 30 апреля 2012 года. [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/15177>
4. Фахрутдинов Р.Р., Гусева С.А. Опыт применения мультиспектральной съемки в области сельского хозяйства // Промэро.2016. Самара. С. 6.