

Г.И. Личман (ГНУ ВИМ
Россельхозакадемии)

В настоящее время – старший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства (ВИМ) Россельхозакадемии. Доктор технических наук.

Н.М. Марченко (ГНУ ВИМ
Россельхозакадемии)

В настоящее время – профессор Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства (ВИМ) Россельхозакадемии. Доктор технических наук.

Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия

Для реализации стратегии точного земледелия (ТЗ) необходимо оценивать варьирование агротехнических показателей и состояние растений в период вегетации в принятой системе позиционирования. Знания о пространственной и временной изменчивости параметров плодородия и состоянии растений позволят выполнять операции воздействия на них в нужном месте и в необходимом количестве. Такая технология дает возможность оперативно управлять производственным процессом, качеством продукции, способствует повышению урожайности и качества сельхозпродукции, оптимизации использования расходных материалов (минимизации затрат), снижению загрязнения окружающей среды за счет более рационального использования удобрений и химических средств защиты растений, повышению качества земель.

Определение изменчивости почвенного плодородия и состояния растений является одним из самых важных элементов новой технологии. Без наличия точных картограмм распределения питательных элементов в почве, состояния посевов, урожайности сельскохозяйственных культур невозможно дифференцированное воздействие на систему «почва+растение».

Измерение параметров почвы, которые влияют на рост и развитие растения, их интерпретация и принятие оптимальных управленческих решений являются одной из задач точного земледелия. Эффективность точного земледелия будет во многом зависеть от того, как быстро и

точно мы сможем определять эти показатели. Частота измерений (пространственная и временная) зависит от того, какова изменчивость измеряемого показателя.

Такие показатели, как содержание нитратов, влажность, могут меняться быстро как по полю, так и во времени и должны измеряться в реальном масштабе времени. Такие параметры, как содержание органического вещества, толщина пахотного слоя, кислотность, несущественно меняются во времени, и их можно замерять один раз в год или реже. Что касается количества замеров, то оно зависит от вариабельности измеряемого параметра. Для определения вариабельности того или иного показателя нужно проводить замеры с определенным шагом квантования, что очень трудоемко и дорогостояще. Поэтому нужны более эффективные способы получения информации.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что наиболее перспективными являются дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) с использованием космических, пилотируемых и беспилотных малых и сверхмалых летательных аппаратов.

На рис. 1 перечислены виды дистанционного зондирования. Наибольшее количество работ происходит в области пассивной и активной регистрации электромагнитной энергии.

Космические аппараты (КА) дистанционного зондирования Земли широко используются для изучения природных ресурсов Земли и решения задач метеорологии. Для



Рис. 1.
Различные способы
дистанционного зондирования Земли

исследования природных ресурсов КА оснащаются в основном оптической или радиолокационной аппаратурой. Преимущества последней заключаются в том, что она позволяет наблюдать поверхность Земли в любое время суток, независимо от состояния атмосферы.

К космической съемке Земли относят снимки и регистрограммы земной поверхности, полученные с высоты более 80–100 км в любое время суток с различных летательных аппаратов: исследовательских ракет, искусственных спутников Земли, автоматических орбитальных станций, пилотируемых космических кораблей.

Аэросъемка представляет собой съемку местности (с высоты от сотен метров до 20 км), проводимую с летательных аппаратов с помощью различных съемочных приборов.

Сегодня для зондирования сельскохозяйственных полей широко применяются легкие пилотируемые аппараты (СЛА) и беспилотные летательные аппараты.

В настоящее время уже предпринимаются попытки использования дистанционного зондирования Земли в точном земледелии. Это аэрофотосъемка (космическая съемка) или сканирование больших площадей для решения задач крупномасштабного картирования полей (составления планов) и построения цифровых карт рельефа.

Эти данные становятся материальной основой создания геоинформационных систем (ГИС) для точного земледелия. Изучение и вторичная обработка таких данных позволяют осуществить процесс кластеризации про-

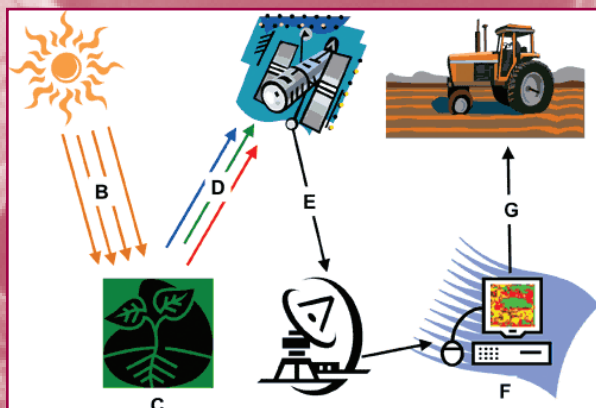


Рис. 2.
Применение ДЗЗ в точном земледелии

странства внутри отдельного поля, прежде всего в агроэкологическом смысле (выделить разного рода площадки с определенным уклоном и ориентацией в пространстве для определения их гидрологии и инсоляции).

Данные дистанционного зондирования могут также быть использованы при составлении управляющих карт для проведения операций агроцикла, в том числе и для дифференцированного внесения минеральных удобрений, химических средств защиты растений и мелиорантов (рис. 2).

На следующем этапе становится возможным определить более точно отдельные параметры почвы, например динамику изменения ее влажности и температуры, а также некоторые климатические факторы, такие, как суммарные температуры, направление ветра, однородные по урожайности или содержанию элементов питания ареалы, зоны управления (*management zones*) и др. [1, 2, 3].

Обработка многоспектральных данных позволяет выявить стрессы растений, вызванные недостатками питания или сорняками, вредителями и болезнями. Применение аппарата прогнозирования урожайности позволит разработать высокоэффективные стратегии проведения работ в агроцикле.

Выполненный нами анализ показал, что имеется несколько подходов к использованию данных ДЗЗ для нужд ТЗ [4].

Первый – использование данных ДЗЗ только для обнаружения и локализации участков аномального развития (угнетенного состояния) растительности в пределах одного поля. Такие аномалии могут быть вызваны самими разными факторами: поражением растений вредителями, угнетением их сорной растительностью, недостатком основных элементов питания, водным стрессом растений и т.д.

Второй – обнаружение количественных связей между биофизическими параметрами состояния растительности и изменениями спектрального отклика растительного покрова, обусловленными влиянием факторов внешней среды или применяемыми агротехнологиями.

Третий подход заключается в интеграции некоторых биофизических параметров растительного покрова (биомасса, проективное покрытие, листовой индекс) или параметров радиационного режима растительности (эвапотранспирация, доля физиологически активной радиации), которые могут быть оценены по данным ДЗЗ с математическими и физиологическими моделями оценки

продуктивности РП и использованы в системе поддержки принятия решений в рамках применяемых технологий ТЗ.

Для успешного применения в ТЗ системы дистанционного зондирования должны отвечать следующим условиям [5]:

1. Возможность осуществления сбора данных, их коррекции и первичной обработки в течение 24–48 часов.
2. Пространственное решение – порядка 5 м для спектральной съемки.
3. Спектральное решение (порядка 10–20 нм) для повышения точности определения биофизических параметров растительного покрова.
4. Высокое временное решение, обеспечивающее по крайней мере 5–6 сеансов получения информации в течение вегетационного периода.
5. Возможность предоставления результатов тематической интерпретации данных в доступных пользователю форматах.
6. Невысокая (доступная) стоимость данных.

Качество получаемых снимков с использованием космических аппаратов (разрешение) в ряде случаев недостаточно для эффективного их использования при решении задач точного земледелия. Это обусловлено в первую очередь погодными условиями (облачность), негативным влиянием других атмосферных явлений. Кроме того, оперативность получения спутниковых снимков недостаточна для принятия своевременных решений. Поэтому перед учеными стоит задача совершенствования методов дистанционного зондирования с целью преодоления перечисленных недостатков.

Особый интерес представляют качественные изменения в техническом оснащении отрасли ДЗЗ, которые произошли за последние 2–3 года [6]. На орбите появились спутники с оптико-электронными системами сверхвысокого разрешения нового поколения (*WorldView-1* и *GeoEye-1*), уникальные многофункциональные космические аппараты (*ALOS*), группировки спутников малого класса мониторингового назначения (*RapidEye*). Особо следует отметить рост группировок спутников с радиолокаторами высокого и сверхвысокого разрешения (*TerraSAR-X*, *COSMO-SkyMed*, *RADARSAT-2*).

Хорошие перспективы для мониторинга у группировки из пяти мини-спутников *RapidEye* [7, 8], которые были запущены 29 августа 2008 г. Владельцем спутников является компания *RapidEye AG* (Германия).

Каждый из спутников, созданных компанией SSTL (Великобритания) и MDA (Канада), оснащен мульти-спектральной оптико-электронной камерой Jena Optronik для съемки с пространственным разрешением 6,5 м (после обработки – 5 м).

Использование беспилотных летательных аппаратов совместно с космическим мониторингом можно рассматривать как один из перспективных способов получения объективной информации, необходимой для решения задач точного земледелия [9]. Для этих целей используют летательные аппараты, способные нести необходимую аппаратуру для осуществления мониторинга состояния поля и посевов и получения информации для решения задач точного земледелия. Такие аппараты лишены недостатков, присущих спутниковым системам. Они могут летать на небольшой высоте (до 30 м), для них не опасно, облачность, не нужно специальное разрешение (коридор). Это позволяет получать снимки конкретного поля или участка поля более высокого разрешения. Они легки в эксплуатации.

За последние два года в России произошли позитивные изменения в области разработки и создания беспилотной техники. Сегодня в России не один десяток фирм занимается разработкой беспилотных летательных самолетов. Беспилотные летательные аппараты принято делить по таким взаимосвязанным параметрам, как масса, время, дальность и высота полета. Выделяют аппараты

класса «микро» (условное название) массой до 10 килограммов, временем полета около 1 часа и высотой до 1 км, «мини» – массой до 50 кг, временем полета несколько часов и высотой до 3–5 км, средние («миди») – до 1000 кг, временем полета 10–12 часов и высотой до 9–10 км, тяжелые – с высотами полета до 20 км и временем полета 24 часа и более.

Исследования по использованию легких и сверхлегких летательных аппаратов для получения информации, необходимой для точного земледелия, ведутся в России и ближнем зарубежье. Для оценки состояния посевов в период вегетации учеными АФИ разработан летательный аппарат (рис. 3, 4).

Для расширения сферы применения беспилотных летательных аппаратов необходимы дальнейшие исследования по совершенствованию их конструкции и оснащению необходимой аппаратурой. Во время испытаний беспилотных летательных аппаратов были обнаружены недостатки, над устранением которых необходимо работать:

- механическая вибрация влияет на качество получаемых снимков; необходимы дальнейшие исследования по выявлению спектра колебаний и поиску методов их устранения;
- устойчивость полета аппарата зависит от скорости ветра; необходимо внести изменения в конструкцию аппаратов, чтобы повысить их устойчивость;
- при эксплуатации летательных аппаратов было уста-



Рис. 3.
Беспилотный летательный аппарат АФИ



Рис. 4.
Фотоснимок участка поля, полученный летательным аппаратом АФИ

новлено, что для взлета и посадки необходима взлетно-посадочная дорожка длиной 100 м; не все исследуемые поля имели такие дорожки, поэтому рассматривается возможность запуска аппаратов с рук;

- необходимы исследования по повышению точности ориентации аппаратов в пространстве; это необходимо для повышения качества фотоснимков и координат сканируемых участков.

Наряду с беспилотными летательными аппаратами самолетного типа в последнее время начали использовать БЛА вертолетного типа для мониторинга окружающей среды и получения информации о состоянии полей, посевах, необходимой для принятия оптимальных управленческих решений в системе точного земледелия. Такие аппараты лишены недостатков, присущих БЛА самолетного типа, и позволяют получать более качественные снимки. Но они более дорогие.

Следует отметить, что выбор между использованием информации от космических или авиационных средств ДЗЗ зависит от конкретных условий их использования, номенклатуры показателей и требуемой оперативности получения данных. Оперативные климатические данные получают преимущественно с помощью космических аппаратов. Оперативная многоспектральная съемка с высоким разрешением осуществляется чаще с использованием пилотируемых и беспилотных аппаратов (БЛА), особенно в регионах с большим количеством облачных дней.

Для пропашных культур и садов вообще могут быть использованы наземные средства, зачастую размещаемые прямо на сельскохозяйственной технике.

Рациональное сочетание космических аппаратов для дистанционного зондирования, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов позволит:

- оперативно получать данные ДЗЗ о состоянии поля и растений в период их вегетации;
- обеспечить высокое и сверхвысокое разрешение для повышения точности определения биофизических параметров растительного покрова;
- обеспечить достаточно частую периодичность съемки.

Необходимо развернуть исследования по обоснованию рационального сочетания космических аппаратов для дистанционного зондирования, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов для получения информации, необходимой для принятия оптимальных управленческих решений в системе точного земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованев И.Н., Рубцов С.А. *Космические средства дистанционного зондирования Земли: Краткое описание и технические характеристики*. - М.: НИИ КС ГНПЦ им. М.В. Хруничева, 2006.
2. Барталев С.А. *Использование данных спутниковых наблюдений для мониторинга растительности. Третья всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, Москва, 15–17 ноября 2005 г.
3. Udayakantha W.A. Vitharana, Marc Van Meirvenne, David Simpson, Liesbet Cockx, Josse De Baerdemaeker. *Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area*. *Geoderma* №143, 2008 pp.206–215.
4. Moran, M.S., Inoue, Y. and Barnes, E.M. 1997. *Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management*. *Remote Sensing of Environment*. 61:pp.319-346.
5. Barnes, E.M., Moran, M.S., Pinter, P.J. Jr and Clark, T.R. 1996. *Multispectral remote sensing and site-specific agriculture: examples of current technology and future possibilities*. *Published in Proc. Of 3rd Int. Conf. on Precision Agriculture, June 23-26, 1996, Minneapolis, Minnesota, ASA*. pp.843-854.
6. Болсуновский М.А. *Перспективные направления развития дистанционного зондирования Земли из космоса*// *Геоматика* – 2009 – № 2. С. 12–15.
7. *Космические аппараты с оптико-электронными системами ДЗЗ* // *Геоматика*. – 2009 – № 1. С. 84–92.
8. *Космические аппараты с радиолокационными системами ДЗЗ* // *Геоматика*. – 2008. – № 1. – С. 63–69.
9. Cochran, R.D. *Detecting Agricultural Trends and Evaluating Remote Sensing for Precision Agriculture*. *4th International Conference on Precision Agriculture and Other Resources Management. The Center for Precision Agriculture. University of Minnesota. Abstract. 2000.*