

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ БЕЛАРУСИ

С.Л. Кравцов¹, канд. техн. наук, Ф.И. Привалов², доктор с.-х. наук, Д.В. Голубцов¹, Е.В. Лепесевич¹, В.В. Холодинский², канд. с.-х. наук, Т.М. Булавина², доктор с.-х. наук, С.А.Лапаник¹, А.П. Гвоздов², канд. с.-х. наук

¹ОИПИ НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,
(Поступила 31.03.2017)

Рецензент: канд. с.-х. наук Д.В. Лужинский

***Аннотация.** Рассмотрены возможности использования и перспективы применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь. Представлены первые результаты разработки и испытаний системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в масштабе отдельного хозяйства.*

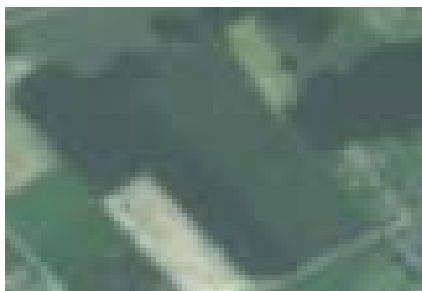
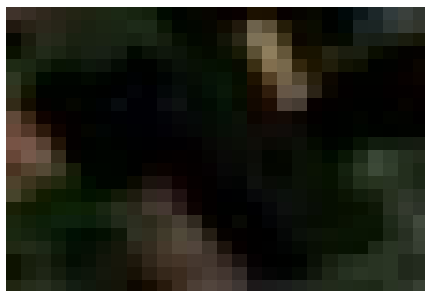
Введение. Повышение или, по крайней мере, поддержание на приемлемом уровне рентабельности сельскохозяйственного производства во многом зависит от внедрения инновационных разработок, направленных на более рациональное использование имеющихся ресурсов. Одним из таких инновационных направлений является применение технологий дистанционного зондирования. Как следствие, в настоящее время в мире сельское хозяйство является ведущей сферой использования спутниковых данных: существует более 30 наднациональных и национальных систем дистанционного мониторинга. Объектами мониторинга являются состояние и площади сельскохозяйственных культур, повреждение их неблагоприятными факторами, прогноз урожайности и др. Кроме того, в последние годы все более масштабный характер приобретает использование в интересах сельхозпроизводителей беспилотных летательных аппаратов.

С учетом все возрастающей роли сельского хозяйства в экономике Республики Беларусь (в настоящее время около 8,5 % ВВП) это направление использования данных ДЗЗ со всем основанием претендует на роль приоритетного. Однако в области применения данных ДЗЗ наша страна значительно отстает от мировой тенденции. Это обусловлено спецификой сельскохозяйственного производства Республики Беларусь. Так, если в Республике Казахстан средний размер поля составляет 350 – 400 га, в Украине 50 – 100 га, в Российской Федерации 30 га, то в Республике Беларусь всего 10 га. Поэтому наиболее часто используемые спутниковые данные в существующих системах мониторинга состояния сельскохозяйственных культур других стран (в Республике Казахстан используются данные со спутников Terra/Aqua MODIS с пространственным разрешением 250 м – 62,5 га на пиксель [1]) не обладают приемлемым про-

пространственным разрешением для Республики Беларусь. Кроме того, у нас в стране поля расположены крайне некомпактно, что значительно снижает эффективность использования спутниковых данных. Предоставленный в последнее время свободный доступ к данным со спутников серии Sentinel-2 программы «Copernicus» Европейского космического агентства с пространственным разрешением 10 м (4 из 13 спектральных каналов) и периодичностью 5 дней (после запуска в марте 2017 г. второго спутника серии) создал уникальную возможность для нашей страны запуска приложений спутникового мониторинга состояния сельскохозяйственных культур. Развитию технологий дистанционного мониторинга также способствует стремительное совершенствование технических характеристик и снижение стоимости беспилотных летательных аппаратов. В связи с этим специалисты Объединенного института проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (г. Минск) совместно со специалистами Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию (г. Жодино) с 2014 г. приступили к разработке системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в масштабе отдельного хозяйства (далее – системы дистанционного мониторинга). Результаты разработки могут быть перенесены как на уровень района, области, страны (с этой целью разрабатывается подсистема картирования культур), так и на уровень точного земледелия (с добавлением подсистемы оценки норм внесения минеральных удобрений). Испытания системы проводятся на опытных полях около г. Жодино, расположенных в почвенно-климатических условиях, являющихся типичными для Центральной зоны Республики Беларусь.

1. Особенности дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь

Для дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур с приемлемыми показателями качества необходимы многоспектральные данные ДЗЗ с адекватным пространственным разрешением относительно среднего размера поля (рисунок 1), полученные с высоким временным разрешением в вегетационный сезон (апрель-октябрь) и минимальной стоимостью.



а

б



В

Г

Рисунок 1 – Данные разных съемочных систем на поле размером около 10 га: а – со спутника Landsat 8 за 22.07.2014 (пространственное разрешение 30 м); б – с белорусского спутника за 15.07.2014 (пространственное разрешение 10 м); в – со спутника QuickBird за 19.04.2014 и 17.09.2014 (пространственное разрешение 2,4 м); г – авиационная съемка за 24.07.2014 (пространственное разрешение 0,2 м)

В этой связи для эффективного функционирования системы дистанционного мониторинга в штатном режиме наиболее приемлемым для Республики Беларусь является использование данных с беспилотных летательных аппаратов (оперативность получения данных, соотношение пространственного и временного разрешений данных съемки, среднего размера полей, средней площади повреждений и др.). Дополнительно могут быть использованы спутниковые данные среднего (Sentinel-2, белорусского спутника и др.) пространственного разрешения (таблица 1).

Таблица 1 – Требования к данным ДЗЗ для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур

Параметр	Решаемая задача			
	Оценка повреждений	Фитосанитарное состояние	Прогноз урожайности	Картирование
Пространственное разрешение, м	0,2	0,2	0,2 - 20	5 - 30
Периодичность получения данных	не менее 1 раза в неделю	не менее 2 раз в неделю	не менее 1 раза в 2 недели	не менее 1 раза в 4 недели
Радиометрическое разрешение, бит/канал	8	8	8	8
Спектральные каналы	синий, зеленый, красный, красной кромки, ближний инфракрасный			

2. Наземные данные для дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур

Электронная картосхема полей – удобный и эффективный инструмент для системы управления и экономического планирования сельскохозяйственным производством. Она помогает быстрее и правильнее принимать управленческие решения, способствуя повышению экономической эффективности

вие неблагоприятных факторов, степени и площади повреждения посевов болезнями и вредителями (фитосанитарное состояние), урожайности сельскохозяйственных культур и др.

3. Результаты разработки системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур

Разрабатываемая система дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в масштабе отдельного хозяйства включает подсистемы оценки повреждения сельскохозяйственных культур вследствие неблагоприятных факторов, мониторинга фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культур, прогноза урожайности сельскохозяйственных культур, картографирования сельскохозяйственных культур.

Подсистема оценки повреждения сельскохозяйственных культур вследствие неблагоприятных факторов предназначена для определения объема ущерба и пространственного распределения повреждения посевов (рисунок 3). Результаты работы подсистемы могут быть использованы для определения размера страховых выплат, оценки необходимого объема семян и топлива на уплотнение и пересев погибших посевов, оптимизации проведения их обследования. Оценка повреждения проводится путем анализа (как визуального, так и автоматизированного) разновременных многоспектральных данных авиасъемки. Для автоматизированной оценки повреждения сельскохозяйственных культур вычисляется изменение значения вегетационного индекса (ВИ). Повреждению сельскохозяйственных культур соответствует отрицательно изменение ВИ [3].

Выявлены случаи повреждения сельскохозяйственных культур вследствие сильного ветра, сильного ветра с дождем, засушливых условий, повышенной дозы внесения азотных удобрений и др. Точность оценки площади повреждения сельскохозяйственных культур вследствие неблагоприятных факторов (интервал проведения авиасъемки 6 – 11 дней, пространственное разрешение – около 0,2 м, устранение влияния разных условий освещенности) составила не менее 85 %.

Подсистема мониторинга фитосанитарного состояния сельскохозяйственных культур предназначена для своевременного выявления очагов пораженности (болезнями и вредителями) посевов и наблюдения за динамикой их развития [4]. Результаты работы подсистемы могут быть использованы для прогноза развития фитосанитарной обстановки и выработки рекомендаций о применении средств защиты растений.

Оценка степени и площади пораженности сельскохозяйственных культур проводится в области значительного изменения фитосанитарной обстановки путем анализа (как визуального, так и автоматизированного) разновременных многоспектральных данных авиасъемки. Выявлены случаи поражения пшеницы чернью колоса (рисунок 3), наличия в посевах пшеницы сорной растительности, распространения капустной моли в посевах ярового рапса и др. Точность оценки степени и площади пораженности сельскохозяйственных культур

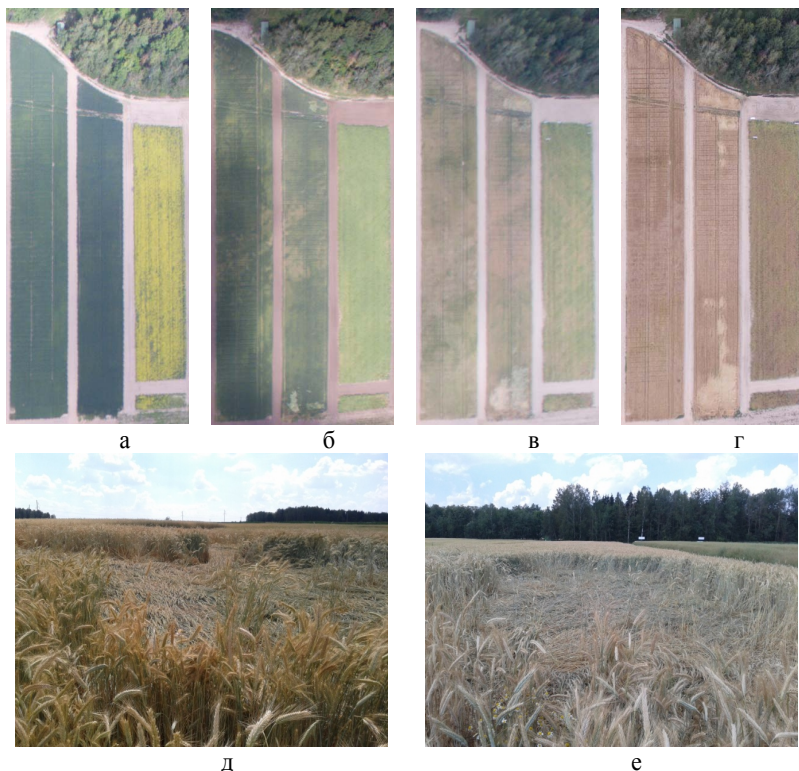


Рисунок 3 – Повреждение сельскохозяйственных культур вследствие сильного ветра:
а, б, в, г – данные авиасъемки соответственно за 24.05.2016, 16.06.2016, 30.06.2016 и
11.07.2016; д, е – фотографии от 02.07.2016

(периодичность авиасъемки 6 – 11 дней, пространственное разрешение – около 0,2 м, устранение влияния разных условий освещенности) составила не менее 0,80.

Подсистема прогноза урожайности сельскохозяйственных культур предназначена для поэтапного до наступления уборки урожая прогнозирования урожайности культур. Заблаговременный прогноз урожайности может быть использован для оперативной коррекции агротехнологических приемов, формирования резервных фондов продовольствия, подготовки необходимых мощностей для хранения урожая, выработки адекватной политики торговли. Для разработки уравнений прогноза урожайности на специально отведенных участках, представляющих основные сельскохозяйственные культуры Республики Беларусь (пшеницу, ячмень, рапс) в течение вегетационного сезона проводились спектрометрические измерения (спектрометр USB-650 компании «Ocean Optics»). По окончании уборки на каждом из участков классическим подходом определялась урожайность.

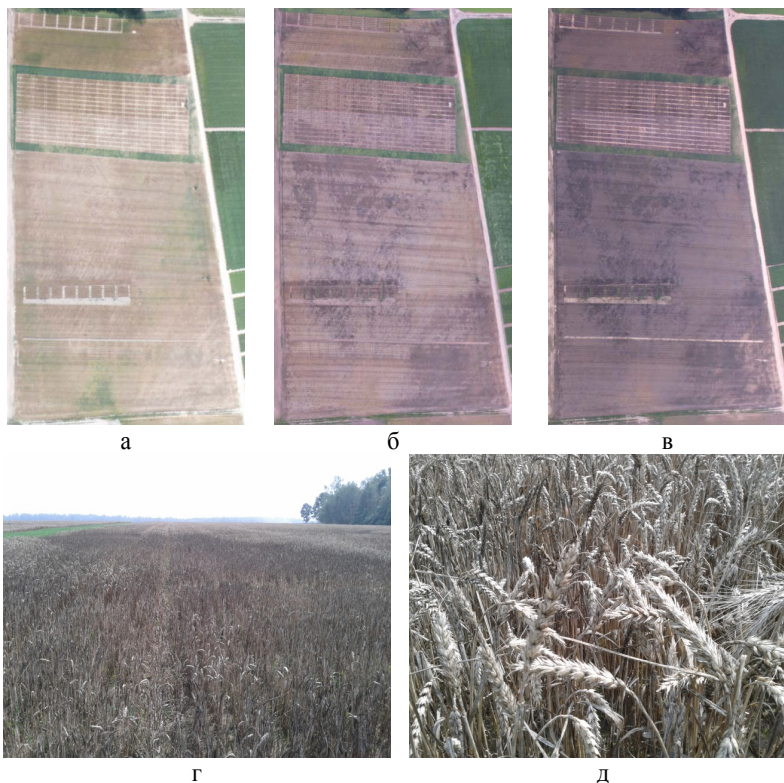


Рисунок 3 – Поражение пшеницы чернью колоса:
а, б, в – данные авиасъемки за 11.07.2016, 19.07.2016 и 26.07.2016 соответственно;
г, д – фотографии от 26.07.2016

Уравнения прогноза урожайности сельскохозяйственных культур разработаны на фиксированные значения кода развития растений BBCH (40, 50, 60, 70, 80, 90) и ориентированы на параметры спектральных каналов спутника Sentinel-2: зеленый (542 - 577 нм), красный (650 - 680 нм) и красной кромки (697 - 712 нм). В уравнениях прогноза урожайности использовались следующие вегетационные индексы: нормализованный разностный красный края/красный индекс NDRERI (Normalized difference rededge/red vegetation index, NDRERI), нормализованный разностный красный края/зеленый индекс NDREGI (Normalized difference rededge/green index, NDREGI), относительный красный края/зеленый индекс SRREG (Simple ratio rededge/green index, SRREG), относительный красного края/красный индекс SRRER (Simple ratio rededge/red index, SRRER). Наилучшие результаты были получены при использовании индекса NDRERI.

Уравнения прогноза урожайности имели следующий вид (рисунок 4) [5]:

$$GY = a \cdot INSEY^b, \quad (1)$$

где GY – потенциальная урожайность;

a, b – коэффициенты аппроксимации;

$INSEY$ – образуемая за день биомасса ($INSEY = BI / DAE$);

DAE – количество дней после прорастания с температурой воздуха способствующего росту.

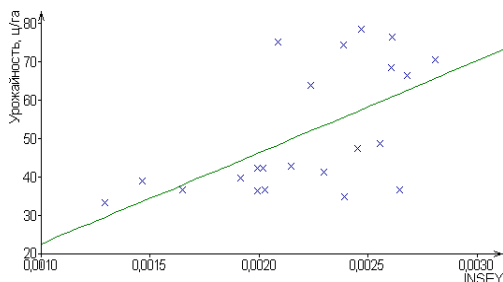


Рисунок 4 – Зависимость урожайности ярового ячменя от значения $INSEY$ ($BBCH=70$)

По данным наземных спектрометрических измерений средняя точность прогноза урожайности на участке составила ($BBCH=50$ и более) 80 – 85 %. По прошедшим атмосферную коррекцию данным со спутника Sentinel-2A за 03.07.2016 точность прогноза урожайности составила ($BBCH=70$ и более) 75 – 85 %. Точность прогноза урожайности значительно снижалась в областях теней от облаков.

Подсистема картирования сельскохозяйственных культур предназначена для определения пространственного расположения посевов видов культур. Результаты работы подсистемы могут быть использованы для повышения точности прогноза урожая, а также в качестве объективной информации при распределении сельскохозяйственных субсидий. Разработка подсистемы важна с точки зрения возможности расширения масштаба дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур с отдельного хозяйства на масштаб района и более.

Различные виды культур и их спектральные параметры (как следствие значения VI) имеют разную динамику в течение вегетационного сезона. В соответствии с этим картирование сельскохозяйственных культур проводилось посредством вычисления разновременных значений VI в совокупности с использованием наземных данных (в качестве обучающих) о расположении видов культур [4].

Вследствие облачности на момент съемки для области исследования данные со спутника Sentinel-2A с пространственным разрешением 10 м не применялись. Использовались данные со спутника Landsat-8 (с пространственным разрешением 30 м). Вследствие низкого пространственного разрешения данных со спутника Landsat-8 и недостаточного количества обучающих участков значительной площади оказалось возможным картировать

12 видов культур (озимая пшеница, яровая пшеница, озимый рапс, яровой рапс, яровой ячмень, люпин, овес, гречиха, горох, кукуруза, травы, пар). Точность картирования сельскохозяйственных культур составила 0,82.

Заключение

Представлены первые результаты разработки в Республике Беларусь системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в масштабе отдельного хозяйства. Разрабатываемая система позволяет ускорить и облегчить трудоемкий процесс традиционного сбора информации и повысить оперативность оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур, позволяя, таким образом получить исходную информацию для оптимизации использования имеющихся ресурсов и, как следствие, повысить эффективность сельскохозяйственного производства. Совершенствование параметров и доступности данных ДЗЗ (как со спутников, так и с беспилотных летательных аппаратов) позволяет считать перспективным использование данных ДЗЗ для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь.

Литература

1. Терехов, А.Г. Основные элементы продуктивности яровой пшеницы Северного Казахстана сезона 2007 г. в представлении EOS MODIS / А.Г. Терехов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5, № 2. – С. 364-370.
2. Кравцов, С.Л. Анализ спектральных каналов для дистанционного мониторинга состояния растительности (по зарубежным публикациям) / С.Л. Кравцов, Д.В. Голубцов, Е.Н. Лисова / Исследования Земли из космоса. Российская академия наук. М.: – 2013. – №1. – С. 79-91.
3. Monitoring freeze injury and evaluation losing to sugar-cane using RS and GPS / Z. Tan [et al.] // Computer and computing technologies in agriculture II, Vol. 1. – Vol. 293. – 2009. – P. 307-316.
4. Кравцов, С.Л. Разработка системы дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в масштабе отдельного хозяйства / С.Л. Кравцов [и др.] // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: матер. Всерос. науч. конф. (с межд. участием); Санкт-Петербург, 16-17 сентября 2015 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2015. – С. 95-99.
5. Crop canopy sensors for efficient nitrogen management in the Indo-Gangetic plains / Progress report USDA funded project (Agreement No.58-0210-5-017F) 11-1-2004 to 10-31-2006. Raj Gupta. The rice-wheat consortium, New Delhi. International maize and wheat improvement center, Mexico. 28 p.

POSSIBILITIES OF REMOTE MONITORING USE IN AGRICULTURE OF BELARUS

S.L. Kravtsov, F.I. Privalov, D.V. Golubtsov, E.V. Lepesevich, V.V. Kholodinsky, T.M. Bulavina, S.A. Lapanik, A.P. Gvozdon

Possibilities and opportunities of the use of Earth Remote Sensing (ERS) data for the monitoring of agricultural crop state in the Republic of Belarus are discussed. The first results of the development and testing system of the remote monitoring of agricultural crop state on a scale of a certain farm are presented.