

# Некоторые направления использования аэрокосмических методов при решении сельскохозяйственных задач в Украине

В.И. Лялько, А.И. Сахацкий, Г.М. Жолобак, М.А. Попов

*Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины  
Украина, 01601, Киев, О. Гончара, 55-б  
E-mail: zhgm@casre.kiev.ua*

Изложены основные направления исследований научных коллективов Украины в сфере использования спутниковых снимков для сельскохозяйственного мониторинга. Приведены наиболее интересные результаты, полученные в Научном центре аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины в процессе разработки и апробации методики дистанционного прогнозирования урожайности озимых зерновых культур.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, космический мониторинг агроресурсов, прогнозирование урожайности, NDVI, площади посевов озимых сельскохозяйственных культур.

## Введение

Системы оперативного информационного обеспечения сельскохозяйственного производства с помощью аэрокосмических методов довольно эффективно действуют во многих развитых странах мира. Применение таких систем создает условия для поднятия сельскохозяйственного производства на качественно новый уровень. В Украине также ряд научных коллективов работают над решением вопросов использования дистанционных данных в агропромышленном комплексе. Целью статьи является ознакомление с состоянием современных отечественных исследований в этом направлении и освещение наиболее интересных результатов, полученных в Научном центре аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины (ЦАКИЗ).

## Направления исследований научных коллективов Украины в сфере использования спутниковых снимков для мониторинга агроресурсов

Научно-методические основы применения дистанционных аэрокосмических методов для решения сельскохозяйственных задач в Украине разрабатываются научными коллективами различных ведомств. В системе Украинской академии аграрных наук (УААН) к внедрению дистанционных методов в сельскохозяйственную науку и практику привлечено несколько организаций. В частности, в секторе дистанционного зондирования почвенного покрова Национального научного центра «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского» (<http://www.issar.kharkov.ua/>) на базе материалов многоспектрального космического сканирования и ГИС-технологий осуществляется мониторинг разнооб-

разных характеристик грунта и создаются электронные почвенные карты. Лаборатория водных ресурсов и мониторинга Института гидротехники и мелиорации УААН (<http://igim.igim.org.ua/>) одним из направлений своей научной деятельности декларирует исследование процессов трансформации водных ресурсов и мелиорированных территорий, прогнозирование состояния и стойкости земель с применением современных новейших технологий, в том числе материалов дистанционного зондирования Земли. В Институте агроэкологии УААН функционирует лаборатория аэрокосмического зондирования агроферы, одним из основных заданий которой является проведение фундаментальных исследований и прикладных разработок в области дистанционного зондирования сельскохозяйственных объектов (<http://agroeco.at.ua/>).

Специалистами УААН в 2007 году была разработана Концепция научно-технической программы «Мониторинг агроресурсов и прогнозирование их состояния с использованием данных дистанционного зондирования» (сокращенное название «Агрокосмос»), которая должна стать первым шагом для создания государственной агроинформационной системы мониторинга агроресурсов. Система «Агрокосмос» предназначена для отработки и внедрения новейших информационных технологий контроля и управления агроресурсами с использованием данных космического наблюдения Земли. Основными разработчиками информационной системы «Агрокосмос» являются: со стороны Национального космического агентства Украины (НКАУ) – государственное предприятие «Днепрокосмос» ([http://dniprokosmos.dp.ua/dk\\_ua.html](http://dniprokosmos.dp.ua/dk_ua.html)) – главный исполнитель, ответственный за аэрокосмическую информацию, и со стороны УААН – три выше названные Института, отвечающие за наземную информацию.

Определенный опыт использования ГИС/ДЗЗ-технологий в практике сельскохозяйственной деятельности накоплен сотрудниками научно-исследовательского и производственного центра аэрокосмической информации “Природа” (<http://www.pryroda.gov.ua>), который тоже является одним из предприятий НКАУ. К системе НКАУ принадлежит и Центр приема и обработки специальной информации и контроля навигационного поля (<http://www.dzz.gov.ua/CPOSI>), специалисты которого, исследуя озимые сельскохозяйственные культуры на основе данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), оценили зависимость развития этих культур от времени и сделали прогноз урожая озимой пшеницы с помощью математической модели (нейронной сети) [1].

В ноябре 2008 года Украинский научно-исследовательский институт прогнозирования и испытания техники и технологий им. Л. Погорелого (<http://ndipvt.org.ua/>), назначенный приказом Министерства агрополитики Украины ответственным исполнителем по получению доступа к системе мониторинга состояния сельскохозяйственных культур с

помощью дистанционных методов зондирования „MARS”, вместе с Институтом защиты и безопасности граждан (Испра, Италия) подписал Соглашение об использовании упомянутой системы в Украине. Освещены также первые результаты такого сотрудничества [2].

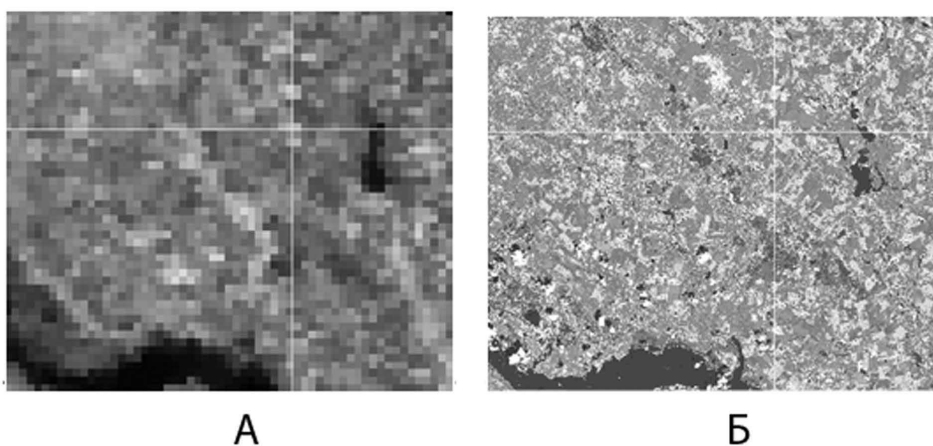
В системе Национальной академии наук Украины (НАНУ) попытки прогноза урожайности озимых культур в пределах административных областей всей Украины по спутниковым данным MODIS сделаны коллективом специалистов Института космических исследований НАНУ и НКАУ (<http://inform.ikd.kiev.ua/>) [3].

Учеными НАНУ осуществляется также разработка приборов дистанционной диагностики растений: полевого спектрометра-полихроматора для подспутниковой валидации и дистанционного зондирования растительных массивов (Институт физиологии растений и генетики в сотрудничестве с другими госучреждениями [4]) и портативного прибора для экспресс-диагностики состояния растений "Флоратест" (Институт кибернетики им. В.М. Глушкова [5])

Следует отметить, что в системе НАНУ одними из первых применили многозональные снимки разного пространственного разрешения для прогнозирования урожайности озимых зерновых культур специалисты Научного центра аэрокосмических исследований Земли ИГН НАНУ (<http://www.casre.kiev.ua>). Для создания соответствующей методики нами в течение 2001-2004 гг. были задействованы космоснимки со спутников AVHRR/NOAA и Landsat-7 [6,7], а с 2005 г. использовались также снимки MODIS, и, в отдельных случаях, SPOT и Rapid Eye. Ниже изложены некоторые достижения научного коллектива ЦАКДЗ в сфере агроориентированного применения космической информации.

#### **Обоснование оптимальных сроков определения значений NDVI для дистанционного прогнозирования урожайности озимой пшеницы**

В основу этих работ были положены материалы съемок NOAA/AVHRR за апрель-июль 2001 и 2002 гг. и снимки Landsat-7 (18.05.2001 г., 21.05.2002 г.) Киевского региона, а также сведения об урожайности озимой пшеницы в пределах конкретных хозяйств. Для определения пространственного расположения полей озимой пшеницы была проведена классификация с обучением при тематической интерпретации снимков Landsat-7 с помощью программного продукта ERDAS Imagine 8.4 с использованием заверочных наблюдений на тестовых участках. Анализ снимков NOAA/AVHRR, привязанных к классифицированному снимку Landsat-7 и к векторизированной схеме землепользования, дал возможность установить динамику изменений спектральных характеристик пшеницы на конкретных полях на протяжении вегетационного цикла (рис.1).



*Рис. 1. Фрагмент снимка NOAA-16 (13.05.2002) (А), совмещенного с классифицированным снимком Landsat-7 (21.05.2002) (Б), для определения спектральных характеристик посевов озимой пшеницы (Барышевский район Киевской области)*

Наиболее значимым результатом на данном этапе исследований было установление оптимальных сроков определения значения NDVI по космоснимкам NOAA для прогнозирования урожайности озимой пшеницы в пределах полигона исследований. В частности, первый показатель NDVI получен со снимков NOAA-16/AVHRR (01.04.01, 02.04.02) и соответствует заключительному периоду возобновления вегетации озимой пшеницы. Он характеризует состояние растений, которые уже отросли и окрепли после перезимовки. Полученные данные относительно первого срока расчета NDVI в целом согласуются с результатами и других исследователей [8].

Второе значение NDVI определено со снимков NOAA-16/AVHRR (08.05.01, 04.05.02), которые сделаны во время выхода озимой пшеницы в трубку после появления над поверхностью почвы нижнего узла соломины. Пройденное с первоначального периода время соответствует активному росту злаков за счёт повышения темпов поглощения основных элементов питания под воздействием генетических и гормональных факторов. Увеличение размеров листовых пластинок обуславливает формирование 40% проективного покрытия. Происходит активный синтез фотосинтетических пигментов, что обеспечивает довольно высокую спектральную яркость посевов озимой пшеницы на снимках Landsat-TM, сделанных в середине мая. В данное время немного ярче на этих снимках только поля с многолетними бобовыми травами.

Третье значение NDVI рассчитано со снимков NOAA-16/AVHRR (16.05.01, 13.05.02), сделанных в начале колошения озимой пшеницы. В межфазный период выхода в трубку – колошения в растения наиболее интенсивно поступают азот и фосфор, достигают своего максимального размера вегетативные органы, а в колосках формируются цветы. В это время посевы озимой пшеницы имеют наибольшую фитомассу и наибольшую

листовую поверхность, которая обеспечивает проективное покрытие до 80% [9]. Показатели NDVI посевов озимой пшеницы, которая находится в фазе колошения, также достигают своего наивысшего значения.

В дальнейшем значения NDVI посевов озимой пшеницы, определенные в указанные сроки по космическим снимкам NOAA-16/AVHRR в границах Мироновского, Барышевского и Яготинского районов Киевской области, суммировались и сопоставлялись с урожайностью озимой пшеницы в конкретных хозяйствах названных районов, где площади посевов этой культуры составляют не менее 500 га. При этом рассматривались различные виды регрессионных зависимостей для поиска среди них наиболее прогностически надежных. Аналогичный подход, использующий сумму NDVI для прогноза урожайности, разрабатывается в работах Rasmussen [10-12], Benedetti, Rossini [13].

Проведенный нами анализ показал существование тесной корреляционной связи между заверочными данными по урожайности озимой пшеницы и суммарными значениями NDVI, которые рассчитывались по данным космической съемки со спутников NOAA. Линейная корреляционная зависимость между урожайностью озимой пшеницы (Y) хозяйств Барышевского района и суммарным значением NDVI (X) для 2001 г. выражена уравнением  $Y = 59.8732 * X + 35,1644$ ; ( $r^2 = 0.828$ ), а для 2002 г. –  $Y = 79.3002 * X + 41,6236$ ; ( $r^2 = 0.670$ ). Следует отметить, что коэффициенты в таких уравнениях могут изменяться в зависимости от гидротермических условий года и районов исследования.

Таким образом, показано, что наибольшей надежностью для прогнозирования урожайности в пределах полигона исследований является зависимость, которая учитывает значения NDVI, полученные в течение следующих трёх сроков: 1) первая декада апреля - период восстановления вегетации озимой пшеницы; 2) вторая декада мая – фаза выхода в трубку; 3) третья декада мая – переходной период от выхода в трубку к фазе колошения. Линейная регрессионная зависимость на данном этапе исследований оказалась более предпочтительной для прогнозирования урожайности, но это требует проверки на большем количестве данных.

### **Определение площади озимых культур по осенним снимкам MODIS в пределах административных районов**

Мультиспектральная съемка сканером MODIS, установленным на спутнике TERRA, рассматривается как альтернативная к мониторинговой съемке AVHRR/NOAA, причем с увеличенными возможностями в плане детализации состояния объектов на поверхности Земли. В результате изучения возможности внедрения данных MODIS в модели

прогнозирования урожайности кукурузы и сои специалистами Министерства сельского хозяйства США под руководством метеоролога Р. С. Doraiswamy [14] была модифицирована схема применения дистанционных данных для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, в которой вместо NDVI, выведенного за данными NOAA/AVHRR, используются 8-дневные композиты MODIS.

С 2005 г. для усовершенствования методики дистанционного прогнозирования урожайности озимых зерновых в ЦАКДЗ также ведется работа по привлечению снимков MODIS, которые вначале были применены для определения площади и состояния посевов озимых культур на примере Киевской области. Источником дистанционной информации служили снимки MODIS/TERRA за октябрь 2005 года, в частности за 06.10.2005 г. и 29.10.2005 г. Прежде всего снимки MODIS/TERRA были привязаны к топографической карте. Далее, используя программный продукт ERDAS Imagine 8.4 и наземные наблюдения, проведена классификация методом наибольшей вероятности. Было выполнено несколько вариантов классификации снимков. Выявлено, что наилучшие результаты показал тот вариант, при котором объединялись синтезированное изображение, которое включает значение NDVI и разность между значениями NDVI снимков MODIS/TERRA за 06.10.2005 г. и 29.10.2005 г.

В результате классификации космических снимков спутника MODIS/TERRA нами были определены площади посевов озимых культур (озимых зерновых и озимого рапса) в пределах Киевской области под урожай 2006 г., а именно: площадь посевов озимых на зерно составляла 202,97 тыс. га, посевы озимого рапса занимали 28,86 тыс. га. Состояние посевов было удовлетворительное. При сравнении полученных с помощью космической информации данных с фактическими значениями оказалось, что отличия между ними колебались в пределах 4-7 %, что указывает на довольно высокий уровень согласованности данных [15].

Дальнейшее усовершенствование методики позволило выделять из синтезированного изображения отдельные административные районы и вести там автоматизированный подсчет количества пикселей, которые были отнесены программой ERDAS IMAGINE к классам озимых зерновых или озимого рапса (рис.2).

Это дало возможность на основании осенних дистанционных данных 2006 года впервые рассчитать размеры площадей посевов озимых культур под урожай 2007 г. в пределах административных районов Киевской области. Для определения достоверности полученных результатов было сопоставлено размеры дистанционно определенных площадей посевов озимой пшеницы с официально задекларированными Главным управлением статистики в Киевской области [16] (табл. 1).

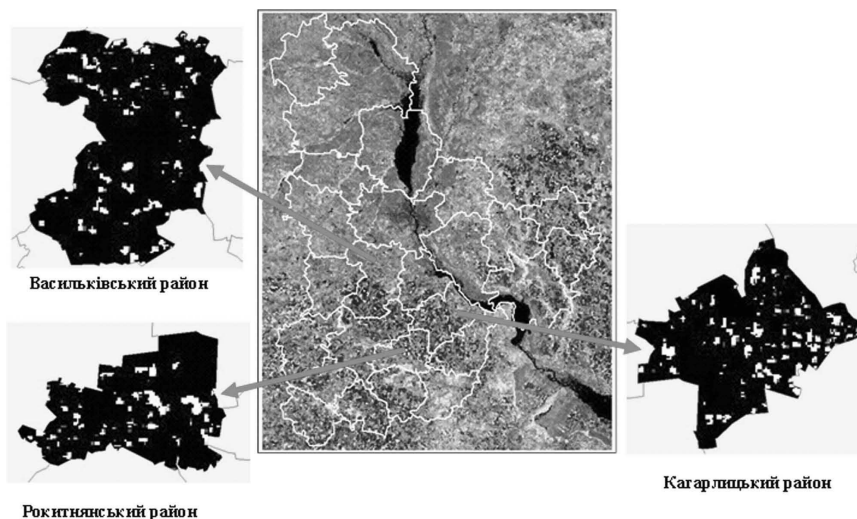


Рис. 2. Выделение посевов озимых зерновых в пределах административных районов Киевской области

Таблица 1. Площадь посевов озимой пшеницы в пределах административных районов Киевской области под урожай 2007 года (за данными осенней 2006 г. съемки MODIS)

№ п/п	Название административного района	Усредненная дистанционная оценка площадей посевов озимой пшеницы под урожай 2007 года, га	Сохраненная площадь посевов озимой пшеницы на зерно под урожай 2007 года (по статистическим данным), га	Отклонение площадей, определенных дистанционно, от статистически задекларированных %
1	Барышевский	8578	8643	-1
2	Белоцерковский	13930	18175	-23
3	Богуславский	7338	7552	-3
4	Бориспольский	9425	9292	1
5	Броварской	4885	5242	-7
6	Васильковский	7758	10415	-26
7	Володарский	9665	8526	13
8	Згуровский	8202	9857	-17
9	Кагарлыкский	10229	12529	-18
10	Киево-Святошинский	2378	2078	14
11	Макаровский	3481	3300	5
12	Мироновский	12529	11384	10
13	Обуховский	5691	5552	3
14	Переяслав-Хмельницкий	20008	20196	-1
15	Рокитнянский	5614	6991	-20
16	Сквирский	13221	18623	-29
17	Ставищенский	8795	11139	-21
18	Таращанский	11853	12211	-3
19	Тетиевский	5737	9167	-37
20	Фастовский	5033	7170	-30
21	Яготинский	11786	11220	5
	В целом по области	186136	209262	-11

Как видно, отклонение дистанционно определенных размеров площадей посевов озимой пшеницы под урожай 2007 г. от официально задекларированных для большей части административных районов Киевской области составляет менее 15 % как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, а в целом суммарная для области погрешность составляет 11 % в сторону уменьшения. Аналогичным образом были определены размеры площадей озимых культур (озимой пшеницы и озимого рапса) в пределах административных районов Николаевской области. Это было выполнено на основании классификации синтезированного снимка MODIS, который включал значение индекса NDVI за 6 и 21 октября и 5 ноября 2005 года. В итоге для всей территории области процент отклонений сравнительно незначительный и составляет 10 % в сторону увеличения, хотя в пределах административных районов наблюдался значительно более широкий диапазон отличий [17]. Полученные данные согласовываются с результатами работ С. Барталева с соавторами [18], которые отмечали, что несмотря на высокие значения коэффициентов корреляции, абсолютные отличия между дистанционно определенными размерами площадей разных типов посевов сельскохозяйственных культур в разрезе административных районов и соответствующими данными государственной статистики могут быть довольно значительными. Поэтому продолжение исследований в этом направлении представляется весьма перспективным.

### **Выводы**

В настоящее время в Украине отсутствует единая государственная программа по вопросам использования данных ДЗЗ в агропромышленном комплексе. Научно-методические основы применения дистанционных аэрокосмических методов для решения сельскохозяйственных задач разрабатываются учеными Национальной академии наук Украины, Украинской академии аграрных наук, Национального космического агентства Украины и Украинского научно-исследовательского института прогнозирования и испытания техники и технологий им. Л. Погорелого Министерства аграрной политики Украины. Специалистами ЦАКИЗ ИГН НАН Украины установлены оптимальные сроки определения значения NDVI по космоснимкам NOAA для прогнозирования урожайности озимой пшеницы в пределах лесостепной зоны Украины (на примере Киевской области). Спутниковый мониторинг посевов озимой пшеницы и рапса с помощью осенних снимков MODIS дает возможность определять размеры площадей посевов озимых сельскохозяйственных культур в пределах административных единиц (область, район).



## Литература

1. *Пакшин М.Ю., Білан І.І., Гаврилюк В.Б. та ін.* Прогнозування урожайності озимої пшениці за космічними знімками. // Збірник наукових праць Чернівецького університету. Чернівці: Рута, 2007. Вип. 360. С.176-184.
2. *Кравчук В.І., Сердюченко Н.М., Ковтуненко О.В. та ін.* Основи методології моніторингу агроресурсів та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за проектом MARS // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць. Дослідницьке, 2009. Вип. 13 (27), кн.2. С.3-14.
3. *Куссуль Н.Н., Ильин Н.И., Скакун С.В. и др.* Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным // International Book Series "Decision Making and Business Intelligence, Strategies and Techniques" Varna, 2008. № 3. P.103-109.
4. *Яценко В.А., Кочубей С.М., Хандрига П.А. и др.* Новый метод дистанционного оценивания содержания хлорофилла в растительности и его программно-аппаратная реализация // Космічна наука і технологія, 2007. Т 13. № 3. С. 35-44.
5. *Романов В.О., Федак В.С., Галелюка І.Б. та ін..* Портативний флуорометр для експресдіагностики стану винограду // Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та розбудова інформаційного суспільства в Україні: Тези міжнар. наук. конф., 15 – 21 березня 2007 р. Ганновер, 2007. Т.ІІІ. С. 34-40.
6. *Лялько В.И., Сахацкий А.И., Ходоровский А.Я. и др.* Возможности прогнозирования урожайности зерновых культур на основе совместного использования многозональных космических снимков AVHRR, NOAA и «Landsat TM» (на примере Киевской области) // Космічна наука і технологія, 2002. Т. 8. № 2/3. С. 249 – 255.
7. *Лялько В.И., Сахацкий А.И., Жолобак Г.М. и др.* Опыт комплексирования многозональных снимков NOAA/AVHRR и “Landsat-7” для прогноза урожайности озимой пшеницы (на примере районов Киевской области) // Космічна наука і технологія, 2003. Т.9. №4. С.99-103.
8. *Dabrowska-Zielinska K., Kogan F., Ciolkosz A. et al.* Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices.// Int. J. of Remote Sensing, 2002. V. 23. N 6. P 1109 – 1123.
9. *Васюхина Т.М., Винниченко Н.К.* Определение видов и состояния сельскохозяйственных культур по материалам многозональной аэрофотосъёмки // Некоторые результаты исследования природных ресурсов с помощью самолётных и полигонных средств.- Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. С.64-72.
10. *Rasmussen M.S.* Operational yield forecast using AVHRR NDVI data reduction of environmental and inter annual variability // Int. J. of Remote sensing, 1997. V. 18. N 5. P.1059-1077.

11. *Rasmussen M.S.* Developing simple, operational, consistent NDVI – vegetation models by applying environmental and climatic information: Part 1. Assessment of net primary production // *Int. J. of Remote sensing*, 1998. V.19. N 1. P.97-117.
12. *Rasmussen M.S.* Developing simple, operational, consistent NDVI – vegetation models by applying environmental and climatic information. Part 11: Crop yield assessment // *Int. J. of Remote sensing*, 1998. V. 19. N 1. P.119-139.
13. *Benedetti R., Rossini P.* On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna // *Remote Sensing of Environment*, 1993. V.45, №3. P. 311-326
14. *Doraiswamy P. C., Hatfield J. L., Jackson T. et al.* Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS // *Remote Sensing of Environment*, 2004. V. 92. №4. P. 548-559.
15. *Лялько В.І., Сахацький О.І., Жолобак Г.М та ін.* Контроль площ та стану озимих культур за допомогою знімків MODIS/TERRA та SPOT XI (на прикладі Київської області) // *Доповіді НАНУ*, 2007. №3. С.122-127.
16. *Посівні площі сільськогосподарських культур під урожай 2007 року в господарствах Київської області.* Статистичний бюлетень. К.: Головне управління статистики у Київській області, 2007. – 49 с.
17. *Сахацький О.І., Жолобак Г.М., Макарова Г.А. та ін.* Класифікування земного покриття за супутниковими даними MODIS для моніторингу посівів озимих зернових у межах адміністративних районів Київської та Миколаївської областей України // *Космічна наука і технологія*, 2009. Т 15. № 5. С. 16-23.
18. *Барталев С.А., Луян Е.А., Нейштадт И.А. и др.* Классификация некоторых типов сельскохозяйственных посевов в южных регионах России по спутниковым данным MODIS // *Исследование Земли из Космоса*, 2006. №3. С. 68-75.

## **Some directions of aerospace methods applications for solution of the agricultural tasks in Ukraine**

**Lyalko V.I., Sakhatsky O.I., Zholobak G.M., Popov M.A.**

*Ukraine, 01601, Kyiv, 55-B, Oles Honchar str.  
E-mail: zhgm@casre.kiev.ua*

The general directions of the studies produced by the scientific teams of Ukraine in the sphere of applications of the satellite images for the agricultural monitoring are presented. The more interesting results received in the Scientific Center for Aerospace Research of the Earth of the IGS NAS of Ukraine in the process of development and approbation of the method for remote forecasting of winter cereal crop yield are proposed.

**Keywords:** remote sensing of the Earth, agricultural satellite monitoring, crop yield forecasting, NDVI, winter crops area.