

УДК 629.197

Канд. техн. наук А.Л. Макаров, канд. техн. наук Д.К. Мозговой,
д-р техн. наук В.С. Хорошилов, Г.В. Петренко, Д.П. Бражник, Д.В. Маслей

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ И НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Рассмотрены спутники ДЗЗ Terra и Aqua, функционирующие на солнечно-синхронной орбите и обеспечивающие ежедневное двукратное покрытие всей территории Украины спектрорадиометром MODIS с пространственным разрешением от 250 до 1000 м и прибором ASTER с разрешением 15...90 м. Описаны способы оценки достоверности классификации результатов съемки. Представлены снимки, сделанные указанными приборами, использованными для решения актуальных для Украины задач.

Розглянуто супутники ДЗЗ Terra й Aqua, що функціонують на сонячно-синхронній орбіті та забезпечують щоденне дворазове покриття всієї території України спектрорадіометром MODIS з просторовим розділенням від 250 до 1000 м і приладом ASTER з розділенням 15...90 м. Описано способи оцінювання достовірності класифікації результатів знімання. Подано знімки, зроблені зазначеними приладами, використаними для вирішення актуальних для України завдань.

The ERS satellites Terra and Aqua, examined in the paper, operate in sun-synchronous orbit and twice a day cover the territory of Ukraine with MODIS spectroradiometer and ASTER device with spatial resolution of 250 to 1000 m and 15 to 90 m correspondingly. The paper describes the methods to estimate validity of classifying of obtained imagery. The paper contains the images, made by the mentioned devices that were used for solving of the tasks, urgent for Ukraine nowadays.

Среди спутников ДЗЗ можно выделить спутники Terra и Aqua, функционирующие на солнечно-синхронной орбите высотой 705 км и обеспечивающие ежедневное двукратное покрытие всей территории Украины сканирующим спектрорадиометром среднего разрешения MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) в 36 спектральных каналах (рис. 1) с простран-

ственным разрешением от 250 до 1000 м, они дают возможность бесплатно передавать данные на приемные станции пользователей в диапазоне 8,2 ГГц.

Кроме того, спутник Terra имеет прибор ASTER с пространственным разрешением 15...90 м в 14 спектральных каналах (рис. 2), данные которого предоставляются на платной основе [1, 2].

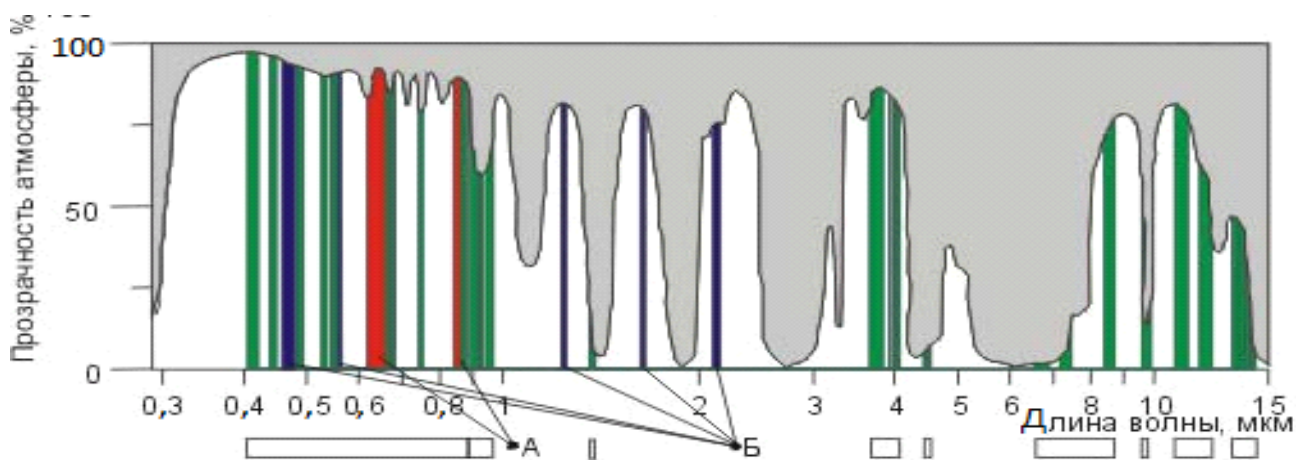


Рис. 1. Спектральный канал прибора MODIS

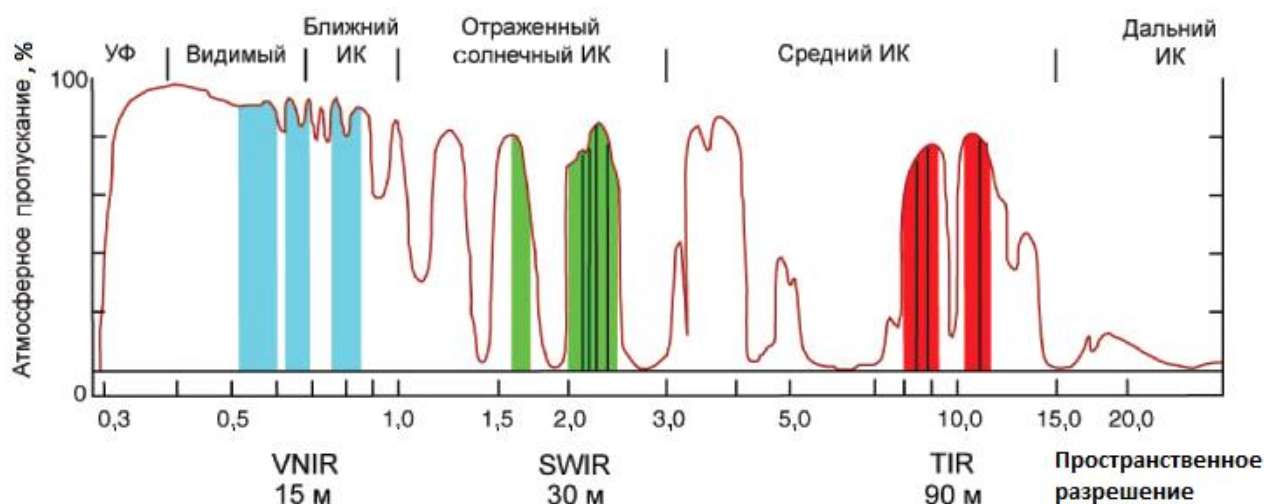


Рис. 2. Спектральный канал прибора ASTER

Для анализа состояния растительности чаще всего используется разностный нормализованный вегетационный индекс растительности $NDVI$, который вычисляется следующим образом:

$$NDVI = [nir - red] / [nir + red], \quad (1)$$

где nir – коэффициент отражения в ближнем ИК-диапазоне; red – коэффициент отражения в красной полосе.

Для разделения пикселей облачного и снежного покровов используется нормализованный разностный индекс снега, определяемый как

$$NDSI = \frac{R_3 - R_6}{R_3 + R_6}, \quad (2)$$

где R_3 – коэффициент отражения в канале 459-479 нм; R_6 – коэффициент отражения в канале 1628-1652 нм.

Наиболее часто для задач дешифрирования растительного покрова применяют классификатор с обучением, использующий способ максимального правдоподобия. Он дает результаты, имеющие минимальную вероятность ошибки для всего набора классифицируемых данных. Данный алгоритм основан на теореме Байеса

$$p(w_i | X) = \frac{p(X | w_i)p(w_i)}{\sum_j p(X | w_j)p(w_j)}, \quad (3)$$

где $p(w_i | X)$ – вероятность принадлежности при данных условиях (результатирующая вероятность); $p(X | w_j)$ – вероятность того, что

данные условия подтверждают принадлежность (определяется по участку-эталону); $p(w_j)$ – вероятность принадлежности, не зависящая от данных условий (априорная вероятность).

Оценить достоверность классификации можно различными способами. Наиболее широко распространен способ построения матрицы соответствия на основе контрольной выборки, которую составляют эталоны классов, не участвующие в обучении классификатора. Доля пикселей, отнесенных к i -тому классу в пределах контрольной выборки w -того класса, от общего числа пикселей контрольной выборки этого класса составляет долю правильно опознанных пикселей контрольной выборки i -того класса.

По данным матрицы вычисляются статистические характеристики совпадения эталонных и контрольных выборок пикселей снимка, из которых наиболее широко распространен коэффициент "каппа", который часто называют коэффициентом Каппа-Коэна. Для каждого класса он вычисляется по формуле

$$K_i = \frac{N \cdot X_{ij} - X_{i+} \cdot X_{+i}}{N \cdot X_{i+} - X_{i+} \cdot X_{+i}}, \quad (4)$$

где N – сумма всех элементов матрицы; X_{ij} – значение ij -того элемента матрицы; "+" – суммирование значений по индексу [3].

Ниже приведены примеры снимков MODIS и ASTER, использованных для решения некоторых задач, актуальных для Украины.

Экологический мониторинг: контроль загрязнения атмосферы (рис. 3), наблюдение зон радиационного заражения, мониторинг отстойников (рис. 4), карьеров, отвалов и рекультивированных земель [4, 5].

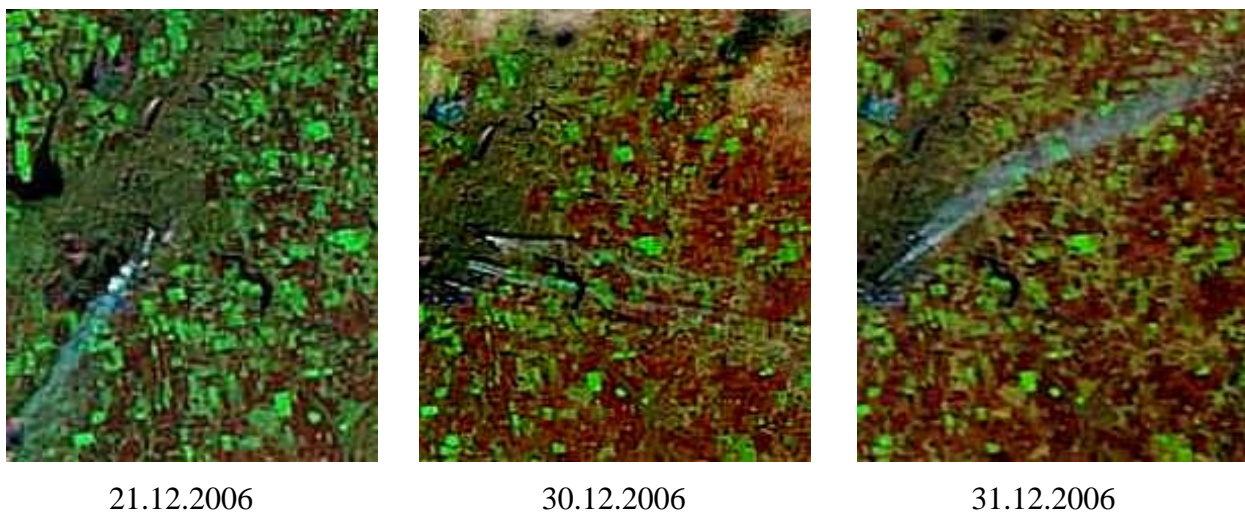


Рис. 3. Выбросы в атмосферу предприятиями Криворожского ГОКа, зафиксированные прибором MODIS

Прогноз и контроль чрезвычайных ситуаций: штормовые и грозовые предупреждения, динамика изменения снежного покрова (рис. 5), прогноз и мониторинг паводков (рис. 6), обнаружение степных (рис. 7) и лесных (рис. 8) пожаров, контроль последствий засух и пылевых бурь, оценка последствий природных и техногенных ЧС, контроль ледовой обстановки.

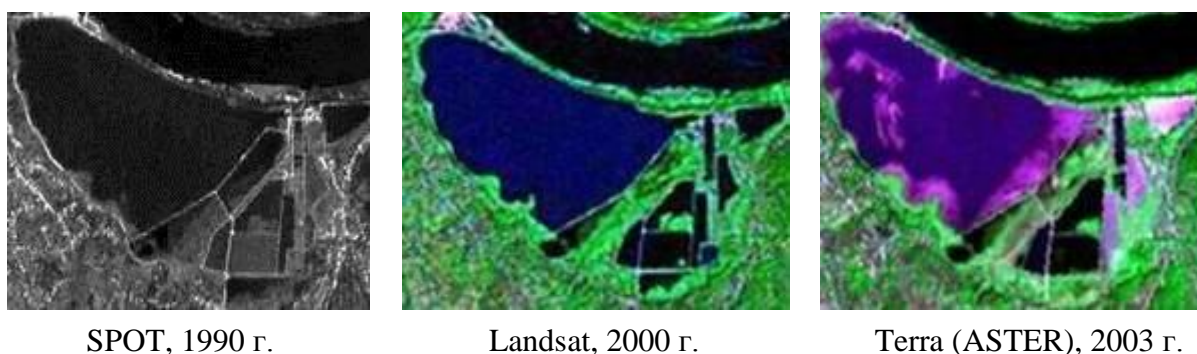


Рис. 4. Мониторинг отстойников под Днепродзержинском

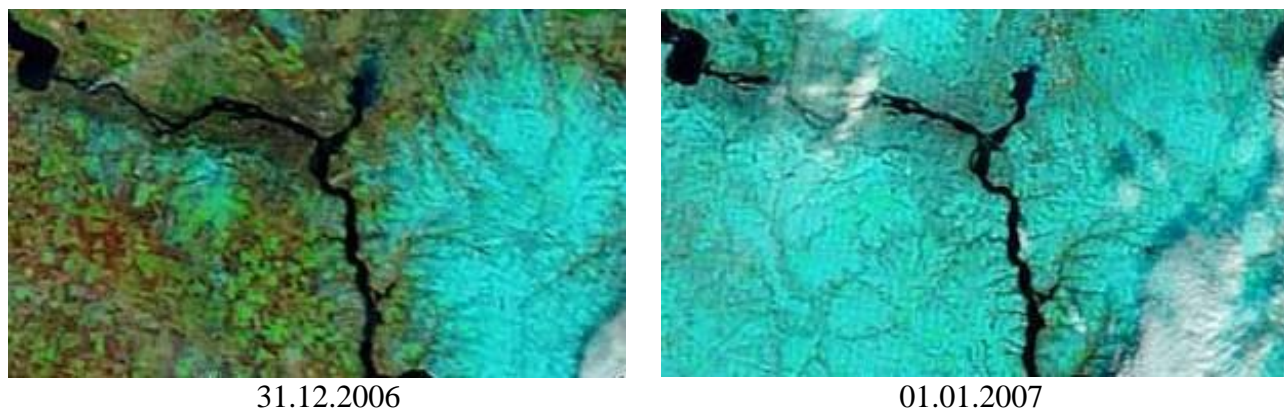
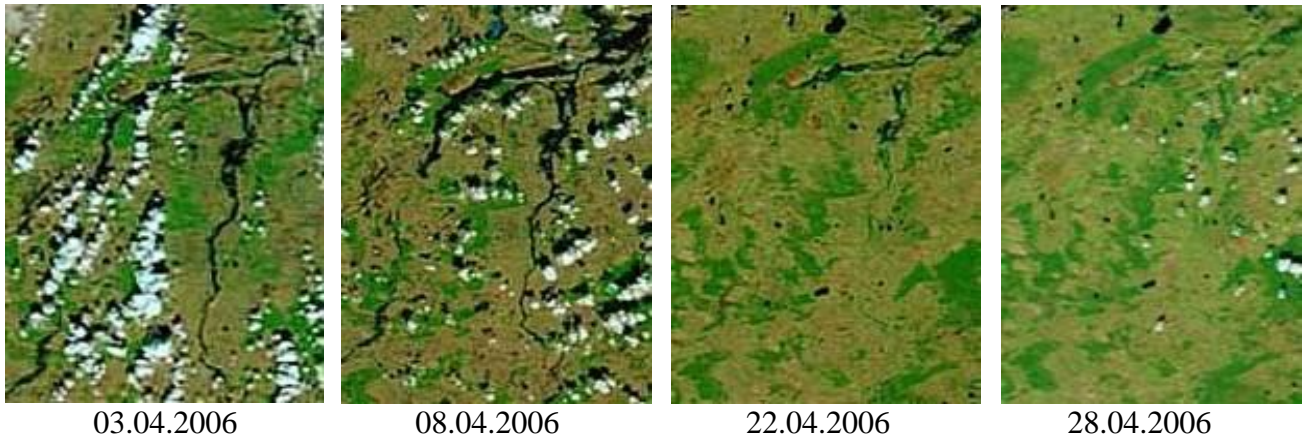


Рис. 5. Динамика изменения снежного покрова Днепропетровского района (спутник Terra, прибор MODIS)



03.04.2006 08.04.2006 22.04.2006 28.04.2006

Рис. 6. Паводки в Волынской области (спутник Terra, прибор MODIS)



Рис. 7. Степные пожары в Днепропетровской области 26.09.2006 (MODIS)



Рис. 8. Лесной пожар в Херсонской области 20 – 21 августа 2007 г.
(площадь лесов, пострадавших от пожара, составила более 5 тыс. га)

Агромониторинг: классификация сельхозкультур, контроль состояния посевов озимых, определение площади посевов, создание планов фермерских хозяйств, контроль севооборота и землеобработки [6].

Контроль лесных ресурсов: определение площади лесных массивов; классификация видового состава лесов; выявление вырубок (рис. 9).



Карта М 1:100000, 1989 г.

SPOT, 1990 г.

Terra (ASTER), 2003 г.

Рис. 9. Выявление участков вырубок в лесопосадках

Контроль водных ресурсов: выявление загрязнения водоемов (рис. 10); мониторинг пересыхающих водоемов (рис. 11).



Карта М 1:100000, 1989 г.



SPOT, 1990 г.

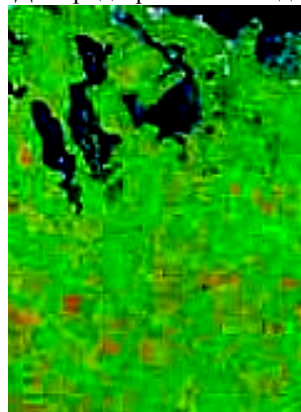


Terra (ASTER), 2003 г.

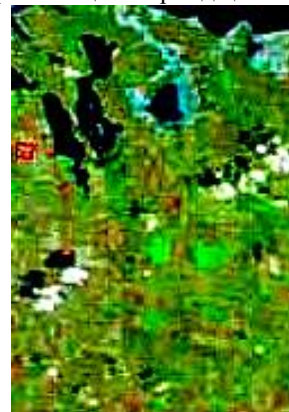
Рис. 10. Днепродзержинское водохранилище в период цветения воды



03.04.2006



08.04.2006



22.04.2006



28.04.2006

Рис. 11. Сезонные пересыхания лиманов в Крыму

Кадастр и землепользование: учет культивируемых земель; определение границ и площадей участков; обновление кадастровых планов (рис. 12).



Landsat (ETM), 2000 г.



Terra (ASTER), 2003 г.

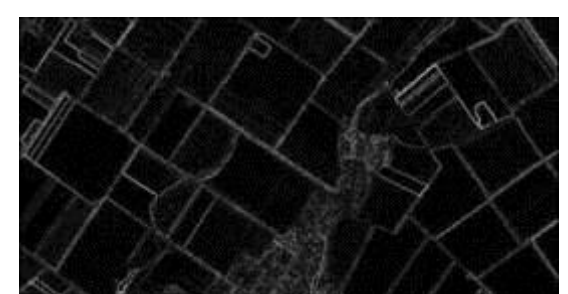
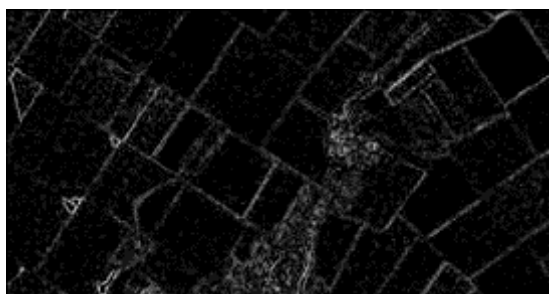


Рис. 12. Обновление планов сельхозугодий в Солонянском районе

Мониторинг состояния почвы: определение состава и состояния грунтов; выявление эрозии и смылов плодородных почв; контроль изменений овражно-балочной сети, оценка солености и влажности почв.

Муниципальное управление: выявление временных изменений городских территорий (рис. 13); оценка динамики застройки (рис. 14); определение площади зеленых насаждений; создание 3D-моделей местности [7].

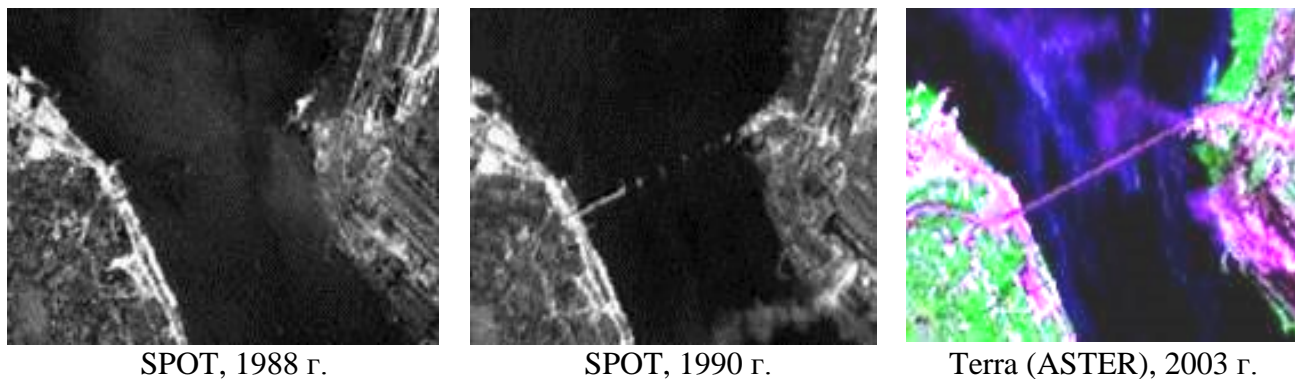


Рис. 13. Динамика строительства моста в Приднепровске



Рис. 14. Строительство жилых массивов в Днепродзержинске

Национальная безопасность: мониторинг пограничных территорий; контроль демаркационных зон; обновление топографических карт; выявление незаконных посевов, мониторинг труднодоступных мест.

В Днепропетровском национальном университете им. Олеся Гончара для студентов старших курсов преподается учебный курс "Системы ДЗЗ", который включает лекции и лабораторные работы. На лекциях студенты изучают физические основы ДЗЗ, принципы работы различных съемочных приборов, особенности функционирования космических систем ДЗЗ, алгоритмы обработки спутниковых снимков и области их использования. На лабораторных занятиях студенты получают навыки работы со спутниковыми снимками, цифровыми картами с использованием современных программных пакетов обработки данных ДЗЗ.

Лабораторные работы организованы таким образом, чтобы студенты могли последовательно пройти все этапы обработки спутниковых снимков:

– гистограммные операции, фильтрация помех, синтез многоспектральных снимков, повышение пространственного разрешения;

– географическая привязка, преобразование картографических проекций, мозаичирование, орторектификация;

– работа с векторными слоями, наложение вектора на растр, формирование масок, обрезка по границам;

– классификация, создание тематических слоев, морфологическая фильтрация, векторизация;

– работа с цифровыми моделями рельефа, создание трехмерных изображений, пространственное моделирование.

Основная задача курса – демонстрация преимуществ использования данных ДЗЗ, поэтому для обучения подобраны разнообразные прикладные задачи, актуальные для Украины.

Кроме того, на физико-техническом факультете ДНУ осуществляется проектирование университетского микроспутника, одной из функций которого будет съемка Земли в видимом диапазоне, что даст возможность учащимся проводить все операции для получения и обработки данных ДЗЗ.

Использование описанных в статье способов достоверности классификации результатов спутниковых съемок позволяет получать качественные снимки с помощью приборов MODIS и ASTER спутников Terra и Aqua и с их помощью решать актуальные для Украины задачи [8].

Список использованной литературы

1. Мозговой Д.К., Волошин В.И. Информационная система "Агрокосмос" // Збірник тез Сьомої української конф. з космічних досліджень, 3-8 вер. 2007 р., Євпаторія, НЦУВКЗ. – К.: Інститут космічних досліджень НАНУ, НКАУ, 2007. – С. 166.

2. Долинец Ю.С., Мозговой Д.К. Методика обучения специалистов по ДЗЗ // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. ПКТ. – 2007 г. – Т. 2, вип. 11. – № 9/2. – С. 13–18.

3. Mozgoviy D.K., Parshina O.I., Voloshin V.I., Bushuev Y.I. Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. Geographic Uncertainty in Environmental Security / Edited by Ashley Morris, Svitlana Kokhan. – Dordrecht: Springer, 2007. – P. 259–270.

4. Мозговой Д.К., Волошин В.И., Тараріко А.Г. Геоінформаційне забезпечення агросфери – система "Агрокосмос" // Міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні проблеми створення і ефективного використання єдиного геоінформаційного простору України при підготовці і прийнятті управлінських рішень", 12–13 груд. 2007 р., Інститут проблем національної безпеки. – К., 2007. – С. 65–66.

5. Долинец Ю.С., Мозговой Д.К. Использование снимков со спутников Terra и Aqua для решения актуальных прикладных задач / VI Міжнар. наук.-техн. конф. "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки". Зб. доповідей. Ч. II. К.: – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", 2007. – С. 97–103.

6. Dolinets Y., Mozgovoy D. Specialists training in ERS / Advanced Space Technologies For The Humankind Prosperity. International Conference. – Днепропетровск: ГKB "Южное", 2007. – С. 123.

7. Мозговой Д.К., Кравец О.В. Использование данных MODIS для экологического мониторинга и контроля чрезвычайных ситуаций // Екологія та ноосферологія. – Т. 20, № 1–2. – Київ–Дніпропетровськ, 2009. – С. 84–89.

8. Мозговой Д.К. Использование данных MODIS и ASTER для решения актуальных прикладных задач/ Міждунар. науч.-практ. конф. "Стратегические решения информационного развития экономики, общества и бизнеса на современном этапе", 17–19 июля 2013 г., п. Научный, АР Крым. Тез. докл. – С. 113–114.

Статья поступила 20.08.2014