



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

1' 2014

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геологічних наук
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

2014 • № 1

Засновник:	Електронний
Національна Академія наук України	науковий фаховий журнал.
Науковий центр аерокосмічних	Заснований у березні 2014 року.
досліджень Землі	Виходить щоквартально.
Інституту геологічних наук	Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
НАН України	E-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



Рекомендовано до видання
Вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України та рішенням Відділення наук про Землю
Національної Академії наук України

Мінімальні системні вимоги: Pentium III 600 Mhz, 128 Mb RAM
Windows-98, Internet Explorer 5.0
Acrobat Reader 5.0

Редакційна колегія

В. І. ЛЯЛЬКО	головний редактор доктор геолого-мінералогічних наук, академік НАН України
М. О. ПОПОВ	заступник головного редактора доктор технічних наук
О. Т. АЗІМОВ	доктор геологічних наук
С. О. БАРТАЛЬОВ	доктор технічних наук (Росія, Москва)
В. Г. ВЕРХОВЦЕВ	доктор геологічних наук
Л. Д. ГРЕКОВ	доктор технічних наук
М. Д. ГРОДЗИНСЬКИЙ	доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України
С. М. ЄСИПОВИЧ	доктор геологічних наук
Л. В. КАТКОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
С. С. КОХАН	доктор технічних наук
Н. М. КУССУЛЬ	доктор технічних наук
СТ. ЛЕВІНСЬКИЙ	доктор технічних наук (Польща, Варшава)
В. В. ЛУКІН	доктор технічних наук
М. М. ПОНОМАРЕНКО	доктор технічних наук
О. І. САХАЦЬКИЙ	доктор геологічних наук
С. А. СТАНКЕВИЧ	доктор технічних наук
А. А. ТРОНІН	доктор геолого-мінералогічних наук (Росія, Санкт-Петербург)
О. Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України
В. Г. ЯКИМЧУК	доктор технічних наук

Секретар редакції О.В. Седлєрова / тел. (044) 484-04-85 / sedlerovaolga@gmail.com
Технічний редактор О.І. Кудряшов / тел. (044) 482-03-72 / o.kudriashov@ujrs.org.ua

Матеріали друкуються в авторській редакції.
Редакція залишає за собою право виправлення статей. Зроблені зміни узгоджуються з автором.
Якість ілюстрацій відповідає якості наданих авторами вихідних матеріалів.

ЗМІСТ

Від головного редактора	4
Загальні питання досліджень Землі з космосу	
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА “НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”: ДО ДНЯ ЦЕНТРУ В. І. Лялько, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, О. І. Левчик, О. В. Седлєрова	7
Науково-методичні основи дистанційного дослідження Землі	
ENGEOMAP — A GEOLOGICAL MAPPING TOOL APPLIED TO THE ENMAP MISSION C. Rogaß, K. Segl, C. Mielke, Y. Fuchs, H. Kaufmann	12
SPECTRAL RESPONSE IN-FLIGHT ESTIMATION OF SICH-2 MULTISPECTRAL SATELLITE SYSTEM М. О. Попов, S. A. Stankevich, Ya. I. Zelyk, S. V. Shklar, O. V. Semeniv	18
ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ НАЗЕМНОГО ТА КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ АНАЛІЗУ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ В УКРАЇНІ В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов	20
АЕРОКОСМІЧНІ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ В УКРАЇНІ В. І. Лялько, О. Т. Азімов, Є. О. Яковлев	25
КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ЗА ДАНИМИ MERIS В. І. Лялько, З. М. Шпортюк, О. І. Сахацький	30
ОПТИМІЗАЦІЯ ДАННИХ ГЛОБАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО ГЕОМОНІТОРИНГА МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ КОЛМОГОРОВА (НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕРЕНИЙ CO ₂ В АТМОСФЕРЕ) Л. Ф. Даргейко, В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, Ю. В. Костюченко, И. Г. Артеменко	35
КОСМІЧНА УКРАЇНА ДОПОМАГАЄ ЯДЕРНІЙ ФУКУСІМІ О. І. Сахацький, С. А. Станкевич	39
Інформація про наукові форуми з ДЗЗ	43
Правила та рекомендації для авторів	46

ВІД ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА



У реальному світі, глобальному інформаційному просторі все більше уваги приділяється таким чинникам, як достовірність даних, оперативність їх отримання, мінімізація необхідних на це різного роду витрат. І тут безперечні переваги і широкі можливості мають методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

ДЗЗ є одним з найбільш вражаючих “практичних виходів” космічної діяльності, саме за його допомогою вирішується все більше “земних” справ і задач — природокористування, ресурсозбереження, екобезпеки тощо. З кожним роком зростає сукупність супутників ДЗЗ, що працюють в космосі, збільшується кількість країн, що підключаються до космічної діяльності.

Можна впевнено констатувати, що на сьогодні ДЗЗ сформувалося в міждисциплінарний науковий і високотехнологічний напрям, змістом якого є розроблення та дослідження принципів, теоретичних основ, методів, технологій і технічних засобів дистанційного спостереження та вивчення об’єктів, процесів та явищ на поверхні та в приповерхневих шарах Землі.

Розвитку методів і технологій ДЗЗ, їх практичному впровадженню послідовно значна роль відводиться в Національних космічних програмах України. В нашій країні системно і плідно працюють в галузі ДЗЗ крупні державні організації і провідні наукові установи, їх співробітниками розробляються та впроваджуються нові ефективні дистанційні методи вирішення актуальних наукових і практичних задач. Методи ДЗЗ застосовують у своїй діяльності також недержавні компанії. Потребу в спеціалістах з ДЗЗ задовольняють відповідні вищі навчальні заклади. Наукові кадри, у тому числі вищої кваліфікації готуються у відповідних установах Національної академії наук України, зокрема у Центрі аерокосмічних досліджень Землі.

Нажаль, в Україні до цього часу не було жодного спеціалізованого журналу з проблем ДЗЗ, що зовсім не притаманне для космічних країн світу. Тому на початку цього року Відділенням наук про Землю Національної академії наук України було прийнято рішення видавати (електронний) Український журнал дистанційного зондування Землі (Ukrainian Journal of Remote Sensing).

Шановний читач і колега,

сьогодні у мене є чудова можливість презентувати Вам перший номер такого українського журналу, який висвітлюватиме нові дані науки і практики в галузі ДЗЗ, наукові узагальнення, результати експериментальних досліджень, нові гіпотези та принципи тощо. Періодичність виходу журналу — щоквартально.

Домашня сторінка журналу: www.ujrs.org.ua.

У журналі передбачаються такі основні розділи:

- наукові основи аерокосмічних дистанційних досліджень Землі;
- методи і засоби одержання та інтерпретації аерокосмічної інформації;
- проблеми використання інформації дистанційного дослідження Землі.

Свої статті автори можуть подавати українською, російською або англійською мовами. Всі вимоги до матеріалів, що подаються, можна знайти в журналі. Електронна адреса редакції: o.kudriashov@ujrs.org.ua.

Журнал розрахований на широке коло фахівців, практиків, науковців, викладачів, інженерів, аспірантів, студентів.

Запрошую до співробітництва

АКАДЕМІК НАН УКРАЇНИ

В. І. ЛЯЛЬКО

ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

В реальном мире, глобальном информационном пространстве все больше внимания уделяется таким факторам как достоверность данных, оперативность их получения, минимизация необходимых для этого разного рода затрат.

И здесь бесспорные преимущества, и широкие возможности имеют методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). ДЗЗ является одним из самых впечатляющих “практических выходов” космической деятельности, именно с его помощью решается все больше “земных” дел и задач — природопользования, ресурсосбережения, экобезопасности т. п. С каждым годом растет совокупность спутников ДЗЗ, работающих в космосе, увеличивается количество стран, подключаемых к космической деятельности. Можно уверенно констатировать, что на сегодня ДЗЗ сформировалось в междисциплинарное научное и высокотехнологичное направление, содержанием которого является разработка и исследование принципов, теоретических основ, методов, технологий и технических средств дистанционного наблюдения и изучения объектов, процессов и явлений на поверхности и в приповерхностных слоях земли.

Развитию методов и технологии ДЗЗ, их практическому внедрению последовательно значительная роль отводится в Национальных космических программах Украины. В нашей стране системно и плодотворно работают в области ДЗЗ крупные государственные организации и ведущие научные учреждения, их сотрудниками разрабатываются и внедряются новые эффективные дистанционные методы решения актуальных научных и практических задач. Методы ДЗЗ применяют в своей деятельности также негосударственные компании. Потребность в специалистах по ДЗЗ удовлетворяют соответствующие высшие учебные заведения. Научные кадры, в том числе высшей квалификации готовятся в соответствующих учреждениях Национальной академии наук Украины, в частности в Центре аэрокосмических исследований Земли.

К сожалению, в Украине до сих пор не было ни одного специализированного журнала по проблемам ДЗЗ, что вовсе не присуще для космических стран мира. Поэтому в начале этого года Отделением наук о Земле Национальной академии наук Украины было принято решение издавать (электронный) Украинский журнал дистанционного зондирования Земли (Ukrainian Journal of Remote Sensing).

Уважаемый читатель и коллега,

сегодня у меня есть прекрасная возможность представить Вам первый номер такого украинского журнала, который будет освещать новые данные науки и практики в области ДЗЗ, научные обобщения, результаты экспериментальных исследований, новые гипотезы и принципы и т. п. Периодичность выхода журнала — ежеквартально. Домашняя страница журнала: www.ujrs.org.ua.

В журнале предусматриваются следующие основные разделы:

- научные основы аэрокосмических дистанционных исследований Земли;
- методы и способы получения и интерпретации аэрокосмической информации;
- проблемы использования информации дистанционного исследования Земли.

Свои статьи авторы могут подавать на украинском, русском или английском языках. Все требования к материалам, которые подаются, можно найти в журнале. Адрес редакции: o.kudriashov@ujrs.org.ua. Журнал рассчитан на широкий круг специалистов, практиков, ученых, преподавателей, инженеров, аспирантов, студентов.

Приглашаю к сотрудничеству

АКАДЕМИК НАН УКРАИНЫ В. И. ЛЯЛЬКО

CHIEF EDITOR FOREWORD

In the real world great attention is paid to such factors as the data reliability, collection efficiency and cost minimization. So, remote sensing (RS) methods have undeniable advantages and opportunities in this case.

RS is one of the most impressive “practical outputs” of space technologies. Today, RS is used in a wide range of “earthly” issues and missions – environmental management, natural resources conservation, public safety etc. From year to year the variety of remote sensing sensors operated in space and number of countries that are engaged to the space program are growing.

It is possible to say that today the RS provided interdisciplinary and high-tech research direction. Main content of one is the development and study of principles, theoretical foundations, methods, technologies and engineering for remote monitoring and study of objects, processes and phenomena on the Earth surface and in the near-surface layers.

Development of remote sensing techniques and technologies and their practical implementation take a significant role in Ukrainian National Space Program. In our country, a lot of government organizations and leading scientific institutions systematically and successfully work in the field of remote sensing. Their employees develop and introduce new efficient remote sensing methods for actual scientific and practical applications. Private companies use remote sensing techniques in their activity too. Leading universities have syllabuses for RS specialists training. High qualification scientific personnel are learned by the relevant institutions of the Ukrainian National Academy of Sciences, including the Centre for Aerospace Research of the Earth (CASRE).

Unfortunately, up this time there wasn't special journal on remote sensing in Ukraine. It is not typical for “space club” countries. Therefore, at the beginning of this year the Department of Earth Sciences, Ukrainian National Academy of Sciences decided to issue digital Ukrainian Journal of Remote Sensing.

Dear Reader and Colleague,

today I have the great opportunity to present you the first issue of the Ukrainian Journal of Remote Sensing. It highlights new results of science and practice in RS, theoretical foundations, scientific conclusions, the results of experimental studies, vexed questions, new concepts and hypotheses etc.

The journal is issued quarterly. Home page of the journal is www.ujrs.org.ua.

The journal has sections:

- the scientific fundamentals of remote sensing;
- methods and techniques for processing and interpretation of aerospace information;
- remote sensing data applications.

Papers can be submitted in Ukrainian, Russian or English. All requirements for paper submission can be found in the journal. Editorial e-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua.

The journal is intended for a wide range of experts, researchers, lecturers, engineers, PhD and graduate students.

ACADEMICIAN OF THE NAS OF UKRAINE V. I. LYALKO

УДК (55:528.8):061.6](477)

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА “НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”: ДО ДНЯ ЦЕНТРУ

В. І. Лялько*, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, О. І. Левчик, О. В. Седлерова

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, Київ, Україна

Резюме. Стаття написана у зв’язку з черговою датою створення Наукового Центру аерокосмічних досліджень Землі (ЦАКДЗ). Наводяться відомості про задачі і основні досягнення Центру, його організаційну структуру. Перераховано найважливіші наукові та науково-практичні розробки Центру, позначено напрями перспективних досліджень.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, організація наукового центру, оброблення космічних знімків, моделі процесів енергомасообміну в геосистемах

© В. І. Лялько, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, О. І. Левчик, О. В. Седлерова. 2014

Два роки тому Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі (ЦАКДЗ) відзначив своє 20-річчя. У зв’язку з цим у журналі “Космічна наука і технологія” була надрукована стаття авторів, в якій було висвітлено основні віхи історії та життєдіяльності Центру. Час минає, й ми наближаємося до чергової, важливої для колективу нашого Центру дати 20 травня — Дня заснування Центру. Це — привід знову звернутися до нашої історії, та до сьогодення колективу Центру.

Ідея створення Центру аерокосмічних досліджень Землі належить доктору геолого-мінералогічних наук В. І. Ляльку, на той час завідувачу відділу тепломасопереносу в земній корі Інституту геологічних наук НАН України. Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук (ЦАКДЗ) було засновано Постановою Президії АН України № 150 від 20.05.1992 р. на базі відділу тепломасопереносу в земній корі Інституту геологічних наук НАН України та Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів колишнього Міннафтогазпрому СРСР.

Організаційно ЦАКДЗ складається з п’яти відділів:

- Енергомасообміну в геосистемах. Завідувач відділом — академік НАН України В. І. Лялько.
 - Аерокосмічних досліджень в геоecології. Завідувач відділом — кандидат геологічних наук В. Є. Філіпович.
 - Аерокосмічних досліджень в геології. Завідувач відділом — доктор геологічних наук С. М. Єсіпович.
 - Геоінформаційних технологій в дистанційному зондуванні Землі. Завідувач відділом — доктор технічних наук М. О. Попов.
 - Системного аналізу. Завідувач відділом — член-кореспондент НАН України О. Д. Федоровський.
- Сьогодні у Центрі працює понад 90 співробіт-

ників, з них майже дві третини — науковці; серед них — академік НАН України, член-кореспондент НАН України, 8 докторів наук, 22 кандидати (геологічних, технічних, фізико-математичних, географічних, біологічних наук), навчається 8 аспірантів.

В Центрі розвивається наукова школа “Енергомасообмін в геосистемах”. Досліджуються процеси енергомасообміну в геосистемах та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об’єктів. Дослідження мають фундаментальний та водночас прикладний характер.

Основні наукові напрями Центру:

1. Розроблення теоретико-методологічних основ створення та використання аерокосмічних систем і технологій дистанційного зондування Землі та інших планет.
2. Розроблення та дослідження моделей об’єктів, процесів і явищ, що вивчаються методами дистанційного аерокосмічного зондування.
3. Розроблення та дослідження принципів і методів дистанційного спостереження та вивчення об’єктів, процесів та явищ на поверхні та в приповерхневих шарах Землі та інших планет за даними, що одержуються в різних інтервалах довжин хвиль електромагнітного спектру.
4. Розроблення та дослідження технологій і технічних засобів дистанційного спостереження та вивчення об’єктів, процесів та явищ на поверхні та в приповерхневих шарах Землі та інших планет за даними, що одержуються в різних інтервалах довжин хвиль електромагнітного спектру.
5. Розроблення та дослідження методів оброблення, аналізу та синтезу сигналів і зображень в аерокосмічних системах дистанційного зондування.

* Тел. +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05
e-mail: casre@iua

6. Геоінформаційне та полігонне забезпечення задач дистанційного аерокосмічного зондування.
7. Методи оцінювання ефективності аерокосмічних систем і технологій дистанційного зондування.

Головні завдання досліджень

1. Оцінка та менеджмент природних ресурсів:
 - деталізація геологічної структури територій (вивчення активних екзогенних процесів, виявлення та локалізація активних розломних зон);
 - оцінка територій і шельфової зони з метою пошуку родовищ нафти та газу;
 - визначення вологості ґрунтів та рівня ґрунтових вод, пошук підземних водних резервуарів;
 - оцінка стану та картування лісових угідь.
2. Екологічний моніторинг навколишнього середовища:
 - оцінка морських акваторій та внутрішніх водоймищ (швидке виявлення розливів нафти і нафтопродуктів на водній поверхні, оцінка еколого-санітарного стану та якості води у водоймищах, виявлення промислових забруднень, контроль розподілу суспендованих речовин, зелених водоростей та ін.);
 - оперативний моніторинг паводків, підтоплень, заболочування, лісових пожеж та інших природних катастроф;
 - оцінка територій, забруднених важкими металами, радіонуклідами, пестицидами та іншими токсичними речовинами;
 - вивчення міських агломерацій (динаміки розвитку і забудови міста, антропогенного впливу промисловості на довкілля).
3. Застосування даних ДЗЗ у сільському господарстві:
 - інвентаризація посівів;
 - оцінка стану сільгоспугідь (фенологічні спостереження, забезпеченість посівів добривом, вологою, визначення біомаси та продуктивності);
 - прогнозування врожаю;
 - оцінка параметрів стану ґрунтів.
4. Теоретичне обґрунтування та оцінка ефективності системи ДЗЗ на основі системного аналізу:
 - оцінки ефективності апаратних комплексів ДЗЗ, що функціонують на борту космічного апарата;
 - формування складу комплексу апаратури, сукупність параметрів якого забезпечить виконання космічної програми ДЗЗ із найбільшою ймовірністю;
 - оцінки ефективності функціонування систем ДЗЗ (з урахуванням космічних апаратів і наземної інфраструктури) на основі методу системної динаміки й інформаційних технологій.

У Центрі розроблені нові ефективні космічні методи та технології для вирішення ряду актуальних для України задач раціонального природокористування, зокрема для:

- пошуків нафтогазових покладів на суходолі та шельфі, що дозволило майже вдвічі підвищити існуючу результативність пошукових робіт і було практично апробовано не лише в Україні, але і в Російській Федерації, Туркменістані, Об'єднаних Арабських Еміратах;
- оцінки стану та врожайності агрокультур;
- оцінки екологічного стану територій та акваторій в режимі моніторингу;
- космічного моніторингу тепловтрат на урбанізованих територіях;
- космічного моніторингу (аудиту) балансу парникових газів.

Відділ енергомасообміну в геосистемах (до 1992 р. — відділ тепломасопереносу в земній корі) створено з метою проведення науково-дослідних робіт з дослідження енергомасообміну в геосистемах на основі комп'ютерного моделювання сучасних супутникових технологій; формування і реалізації єдиної наукової та науково-технічної політики Центру, розв'язання актуальних наукових проблем, підвищення його наукового потенціалу. У відділі виконано значний обсяг теоретико-методичних та практичних досліджень: моделювання процесів формування ресурсів та гідрогеологічних умов охорони підземних вод, розробка методів розрахунку тепло- і масопереносу в земній корі, обґрунтування захоронення токсичних промстоків у надра; розроблено критерії геотермічних пошуків корисних копалин, в тому числі підземних вод та вуглеводневої сировини. Узагальнено теоретико-методичні основи застосування матеріалів космічних зйомок для вирішення актуальних задач раціонального природокористування, зокрема, пошуків нафтогазових покладів на шельфі, оцінки фітосанітарного стану та пожежонебезпечності лісів, прогнозування стану і врожайності зернових культур та екологічної ситуації в екосистемах, розроблено та застосовано нові ефективні методи і технології синергетичної інтерпретації матеріалів сучасних аерокосмічних гіперспектральних зйомок. Вперше експериментально визначено основні балансові складові формування парникового ефекту в межах території України на основі матеріалів багатоспектральних космічних зйомок з метою виявлення кількісних показників для обґрунтування виділених Україні квот парникових газів відповідно до Кіотського протоколу. Розроблені довготермінові сценарії кліматичних та екологічних змін на регіональному та локальному рівнях. Визначено стратегії адаптації, в тому числі в зв'язку з передбачуваною ескалацією природних катастроф.

Відділом виконано значний обсяг впроваджень цих результатів у вигляді договірних робіт з виробничими організаціями, державними адміністраціями Києва, Херсона тощо.

Відповідно до Постанови Бюро відділення наук про Землю НАН України від 19.05.2011 р. у відділі енергомасообміну в геосистемах створено лабора-

торію досліджень природних ресурсів дистанційними методами. Її основними завданнями визначено теоретико-методичне обґрунтування та дослідна реалізація нових дистанційних методів і методичних підходів для вирішення тематичних задач з вивчення природних ресурсів, а саме: оцінки процесів водообміну та ресурсів підземних вод; визначення агроресурсів, продуктивності агрофітоценозів та стану ґрунтів; оцінки площ та стану лісів; оцінки впливу рослинного та ґрунтового покриву на баланс парникових газів; комплексування даних космічної зйомки та наземної завіркової інформації полігонних досліджень для визначення параметрів моделей енергомасообміну в геосистемах з метою прогнозування змін довкілля при вирішенні природоресурсних та природоохоронних задач.

Відділ аерокосмічних досліджень у геології створено на базі колишнього Київського відділу Інституту геології і розвідки горючих копалин Міннафтогазпрому СРСР (1976 р.). На початку 1992 р. він трансформувався в Інститут космоаерометодів, який у травні 1992 р. увійшов до складу ЦАКДЗ. Науковий напрям відділу — розробка наукового комплексу аерокосмічних, географічних та геолого-геофізичних методів для вирішення геологічних задач.

Створено нові технології пошуку покладів вуглеводнів на суші та шельфі за допомогою використання матеріалів космічного знімання. Проведено апробацію супутникової технології прогнозу покладів нафти і газу в межах Дніпровсько-Донецької западини, а на окремих її нафтогазопошукових площах виконано оцінку перспектив нафтогазоносності. Результати апробації демонструють високу достовірність технології прогнозу і відкривають перспективи прогнозування нових родовищ вуглеводнів, що дозволить значною мірою вирішити паливно-енергетичну проблему України за рахунок розвитку власної сировинної бази. Використання зазначеної технології дозволяє підвищити геологічну та економічну ефективність геологорозвідувальних робіт на нафту і газ, збільшити обсяг приросту запасів вуглеводневої сировини на фоні зниження фінансових витрат. Розроблено методику та виконано оцінку нафтогазового потенціалу шельфу Чорного моря дистанційними методами. Проведено рейтингову оцінку нафтогазоперспективних об'єктів на шельфі, структурно-геоморфологічних та геолого-геофізичних критеріїв для північно-західного шельфу Чорного та акваторії Азовського морів.

Відділ аерокосмічних досліджень в геоєкології засновано з метою організації і проведення науково-дослідних робіт у напрямі розробки теорії та методів використання матеріалів багатоспектральної аеро- та космічної зйомки для вирішення геоєкологічних завдань. Основними завданнями та функціями відділу є створення нових методів та технологій комп'ютерного оброблення та інтерпретації аерокосмічних зображень в інтересах вирішення приро-

доохоронних геоєкологічних задач, розробки методології екологічного моніторингу в умовах сучасної трансформації урбанізованих територій на основі новітніх супутникових технологій дистанційного зондування Землі.

Вченими відділу розроблено методичні принципи і технології використання матеріалів дистанційної інформації при виконанні геологознімальних робіт в Україні. Побудовано просторово-часові моделі підтоплення ґрунтовими водами в умовах міських агломерацій за дистанційними даними. Розроблено методичні прийоми виявлення техногенного забруднення урбанізованих територій важкими металами та джерел забруднень водного середовища за допомогою наземного спектрометрування та використання матеріалів ДЗЗ. Створено методичні основи оцінки геоєкологічного стану промислових центрів (для Нікополя, Борислава, Києва, Кривого Рогу). Результати проведених робіт по Києву використовують природоохоронні структури Київської міської держадміністрації.

Відділ геоінформаційних технологій в дистанційному зондуванні Землі створено у 2004 році з метою організації інформаційно-методичного та алгоритмічного забезпечення робіт з дистанційного зондування Землі.

Основні напрями досліджень — інформаційно-методичне та алгоритмічне забезпечення робіт з ДЗЗ, а саме: розроблення методичного та алгоритмічного забезпечення інтерпретації аерокосмічних зображень для вирішення тематичних задач ДЗЗ; обґрунтування вимог до обліку перспективних бортових комплексів ДЗЗ, розроблення методів оцінювання якості та інформаційних властивостей цифрових багато- та гіперспектральних аерокосмічних зображень; розроблення методології тестування створюваних супутникових технологій на основі геоінформаційних технологій та польових полігонних вимірювань; створення вітчизняної понятійно-нормативної бази у галузі ДЗЗ, її удосконалення і гармонізація з відповідними міжнародними стандартами та нормами.

Вченими відділу проводяться дослідження зі створення нових підходів до геоінформаційного і полігонного забезпечення робіт з ДЗЗ, розроблення ефективних методів і алгоритмів оброблення та комп'ютерного аналізу багато- та гіперспектральних аерокосмічних зображень для вирішення тематичних задач ДЗЗ.

Відділ системного аналізу створено у 2002 році з метою проведення науково-дослідних робіт в напрямі наукового обґрунтування і впровадження методів системного аналізу у розв'язання геоєкологічних і природоресурсних задач на основі аерокосмічної інформації ДЗЗ.

Основними напрямами досліджень є виконання науково-дослідних робіт, передбачених державними і відомчими замовленнями; фундаментальних,

пошукових та прикладних науково-дослідних робіт та розробок за такими науковими напрямками: розробка наукових основ системного моделювання процесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначення їх оптимальної структури, параметрів та ефективності використання; розробка системної методології розвитку та підвищення ефективності космічного геомоніторингу для вирішення ресурсних і екологічних задач природокористування.

У відділі розроблено наукові основи моделювання процесу одержання інформації космічними системами ДЗЗ, визначено їх оптимальну структуру, параметри та ефективність використання. Створено системну методологію розвитку та підвищення ефективності космічного геомоніторингу для вирішення задач природокористування при зростанні об'єму виконуваних тематичних задач та удосконаленні космічних систем ДЗЗ (зростання ризику надзвичайних ситуацій, розширення пошуку корисних копалин і вдосконалення параметрів космічних знімків).

З 2007 року в ЦАКДЗ плідно працює Центр колективного користування спектрометричною апаратурою, який оснащений сучасними вимірювальними приладами, зокрема, прецизійним польовим спектродіаметром FieldSpec3FR виробництва американської компанії ASD. Створена база оптико-спектральних характеристик природних та штучних об'єктів, яка налічує понад 18 тис. описів.

Національною академією наук України та Державним космічним агентством України (ДКАУ) Центр визначено головною організацією з комплексної розробки науково-методичних основ аерокосмічного зондування Землі для дослідження природних ресурсів і екологічного моніторингу. На базі Центру працює Наукова рада НАН України по вивченню природних ресурсів дистанційними методами та спеціалізована вчена рада з присудження докторських і кандидатських наукових ступенів у галузі технічних та геологічних наук за спеціальністю 05.07.12 — Дистанційні аерокосмічні дослідження.

Центром видано атласи “Україна з Космосу” та “Космос — Україні” комп'ютерно дешифрованих космоснімків українсько-російського космічного апарата “Океан-О”, українського супутника “Січ-1”, підготовлено аналогічні матеріали зйомок супутником “Січ-2”, в яких показана можливість їх використання для вирішення актуальних для України природоресурсних і природоохоронних завдань.

Центр неодноразово посідав перші місця у Відділенні наук про Землю НАН України за кількістю одержаних патентів.

Упровадження розроблених у Центрі новітніх супутникових технологій пошуків покладів вуглеводнів дозволило провести оцінку нафтогазоперспективності заданих замовниками 134 об'єктів Дніпровсько-Донецької западини та 64 об'єктів азо-

во-чорноморського шельфу (в тому числі 18 — по азовському і 46 — по чорноморському шельфу). Рекомендації щодо постановки пошуково-розвідувальних робіт на виявлених площах регулярно передаються ПАТ “Укрнафта”, ДК “Укргазвидобування”, НАК “Нафтогаз України”.

Державним адміністраціям Києва і Херсона подано результати дешифрування космічних зображень з прогнозуванням розвитку сучасних екзогенних процесів у місті.

До Генерального плану розвитку м. Києва до 2025 р. розроблені картографічні моделі розвитку підтоплення ґрунтовими водами території м. Києва (М 1:25 000–1:50 000).

Міністерству з надзвичайних ситуацій України надано карту пожежонебезпечності лісів Чорнобильської зони відчуження. БАТ “Укрнафта” передані для впровадження карти “Джерела аномально високих концентрацій природного газу в приземному шарі атмосфери міст Борислав та Східниця”.

Значна частина діяльності Центру має міжнародну спрямованість. Центр — перша в Україні наукова організація, яка свого часу була прийнята до Європейської асоціації лабораторій дистанційного зондування (EARSeL). ЦАКДЗ має розвинуті міжнародні зв'язки та плідно співпрацює з Європейським Космічним Агентством (ESA), а також з космічними агентствами та установами Росії, США, Німеччини, Франції, Угорщини, Польщі, Білорусі, зокрема, в рамках програм GEOSS-GMES та ін.

Вчені Центру в період 2009–2012 рр. брали участь в науковому проекті “HABIT-CHANGE — Adaptive Management of Climate-induced Changes of Habitat Diversity in Protected Areas”, в якому були задіяні 12 країн Центральної Європи. В 2013 році за погодженням між Токійським університетом і ЦАКДЗ був розпочатий спільний українсько-японський проект “Аналіз супутникових даних на площах Фукусіма-Чорнобиль”. В його рамках в Києві та Токіо систематично проводяться спільні науково-практичні семінари, в яких беруть участь співробітники Центру.

Співробітникам Центру присуджено Державні премії України в галузі науки і техніки:

- за 2004 р. В. І. Лялька (як співавтору) за цикл робіт “Наукові основи формування ресурсів підземних вод як джерела якісного водопостачання та раціонального господарського водокористування”;
- за 2005 р. О. Д. Федоровському, М. О. Попову та О. І. Сахацькому (як співавторам) за цикл робіт “Розв'язання проблем раціонального природокористування методами аерокосмічного зондування Землі та моделювання геодинамічних процесів”;
- за 2011 р. С. А. Станкевичу (як співавтору) за цикл наукових праць, пов'язаних зі створенням новітніх комп'ютерних технологій дешифрування космічних матеріалів при вирішенні екологічних задач.

Результати досліджень Центру за період його роботи знайшли своє відображення у понад 670 публікаціях (монографії, наукові статті, державні стандарти, патенти, підручники, посібники), у тому числі таких:

- Україна з космосу: Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів. — 2-е вид. / За ред. В. І. Лялька та О. Д. Федоровського. — Київ, 1999. — 34 с.
- Космос — Україні: Атлас дешифрованих знімків території України з КА “Океан” та інших космічних апаратів / За ред. В. І. Лялька та О. Д. Федоровського. — Київ, 2001. — 106 с.
- Нові методи в аерокосмічному землезнавстві / За ред. В. І. Лялька. — Київ, 1999. — 262 с.
- Інформатизація аерокосмічного землезнавства / Ред. С. О. Довгий та В. І. Лялька. — К.: Наук. думка, 2001. — 606 с.
- Словник із дистанційного зондування Землі / За ред. В. І. Лялька та М. О. Попова. — К.: СМП АБЕРС, 2004. — 170 с. www.casre.kiev.ua.
- Державний стандарт України ДСТУ 4220-2003 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять” / [В. І. Лялька, М. О. Попов, Є. І. Бушуєв та ін.] // Держспоживстандарт України, 2003. — 18 с.
- Національний стандарт України ДСТУ 4758:2007 “Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять” / [В. І. Лялька, М. О. Попов, Є. І. Бушуєв та ін.] // Держспоживстандарт України, 2007. — 12 с.
- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 358 с.
- Аерокосмічні знімальні системи: Посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. — Львів: Львівська політехніка, 2010. — 292 с. www.vlvp.edu.ua.
- Аерокосмічні знімальні системи: Підручник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. — Львів: Львівська політехніка, 2013. — 316 с.

Монографія “Изменения земных систем в Восточной Европе” / Ред. В. И. Лялька. — Киев: ПП “Фолиант”, 2010. — 581 с.

Науково-методичний посібник “Аерокосмічні дослідження геологічного середовища” / [А. Г. Мичак, В. Є. Філіпович, В. Л. Приходько та ін.] // К.: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України; Державна геологічна служба, 2010. — 246 с.

Earth Systems Change over Eastern Europe / Ed. by P. Groisman and V. Lyalko // К.: Akademperiodyka, 2012. — 488 p.

Инфраструктура спутниковых геоинформационных ресурсов и их интеграция / Сб. науч. статей под ред. д. т. н. М. А. Попова и д. т. н. Е. Б. Кудашева. — Киев: Карбон-Сервис, 2013. — 192 с.

Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку / За ред. А. Г. Загороднього та Ю. М. Єрмольєва. — Київ, 2013. — 356 с.

Колектив Центру продовжує свої наукові та науково-практичні дослідження і зосереджує свої зусилля на таких напрямках:

- подальше розроблення науково-методологічних основ ДЗЗ, розроблення і удосконалення моделей фізичних процесів, що відбуваються на суходолі та на шельфі, в контексті завдань пошуку та розвідки корисних копалин, оцінювання екологічного стану територій, небезпечних природних та техногенних ситуацій, тощо;
- створення нових ефективних методів і технологій вирішення актуальних наукових тематичних задач та завдань Космічної програми України;
- практичне впровадження наукових напрацювань;
- посилення міжнародної складової наукової діяльності Центру, зміцнення наукових зв'язків з провідними міжнародними організаціями і установами, вченими.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ “НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ”: КО ДНЮ ЦЕНТРА

В. І. Лялька, М. О. Попов, О. Д. Федоровський, О. І. Левчик, О. В. Седлєрова

Резюме. Стаття написана в зв'язі з очередной датою создания Научного центра аэрокосмических исследований Земли (ЦАКДЗ). Приводятся сведения о задачах и основных достижениях Центра, его организационной структуре. Перечислены важнейшие разработки Центра, обозначены направления перспективных исследований.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, организация научного центра, обработка космических снимков, модели процессов энергомассообмена в геосистемах

THE STATE INSTITUTION “THE SCIENTIFIC CENTRE FOR AEROSPACE RESEARCH OF THE EARTH OF INSTITUTE OF GEOLOGICAL SCIENCES OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE”: IN CONNECTION OF CASRE'S DAY

V. I. Lylko, M. O. Popov, O. D. Fedorovsky, O. I. Levchik, O. V. Sedlerova

Abstract. The paper was written in connection of data of creation of the Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth (CASRE). The information on objectives and main achievements of the CASRE is noted. Organization structure of CASRE is noted. Fields for the future research are designated.

Keywords: remote Sensing of the Earth, Scientific Centre's organization, Satellite Image Proceeding, Models of Energy and Mass Transfer in Geosystems

ENGEOMAP — A GEOLOGICAL MAPPING TOOL APPLIED TO THE ENMAP MISSION[☆]

C. Rogaß*, K. Segl, C. Mielke, Y. Fuchs, H. Kaufmann

Helmholtz Centre Potsdam—GFZ German Research Centre for Geosciences, Section 1.4 Remote Sensing, Potsdam, Germany

Abstract. Hyperspectral imaging spectroscopy offers a broad range of spatial applications that are primarily based on the foregoing identification of surface cover materials. In this context, the future hyperspectral sensor EnMAP will provide a new standard of highly qualitative imaging spectroscopy data from space that enables spatiotemporal monitoring of surface materials. The high SNR of EnMAP offers the possibility to differentiate and to identify minerals that are showing characteristic absorption features as a 30 m × 30 m spatial mixture in the visible, the near infrared and the short wave infrared range (0.4–2.5 µm). For this purpose, spectral mixture analysis (SMA) approaches are traditionally used. However, these approaches lack in transferability, repeatability and inclusion of sensor characteristics. Additionally, they rely on image-based and randomly detected endmembers as well as on in situ or laboratory spectra that are not spatially stable in case of an imagebased extraction and are assumed to be spectrally pure. In this work, a new framework is proposed that addresses these limitations considering the EnMAP sensor characteristics. It is named EnMAP. Geological Mapper — EnGeoMAP. It consists of several new and adapted approaches to identify spectrally homogeneous regions. In parallel, minerals are identified and semi-quantified by a sensor-related and knowledge-based fitting approach. Supplementary outputs are abundance, classification, homogeneity and uncertainty maps. First results show that the proposed approach offers 100% repeatability and gains an identification error for minerals of about 2% on average for different studies. In this work, an approach is proposed that aims on spectroscopic mineral modelling by image synthesis that might be applied for geological mapping.

Keywords: hyperspectral imaging spectroscopy, geological mapping, EnMAP mission, minerals identification, mixture analysis

© Christian Rogaß, Karl Segl, Christian Mielke, Yvonne Fuchs, Hermann Kaufmann. 2013

Introduction

Remote sensing of soils and geology often relies on approaches that directly identify minerals within hyperspectral images. To achieve this, unknown image spectra are statistically compared with known library or in situ spectra. Field samples are often additionally analysed by X-Ray diffractometry (XRD) and by fluorescence spectroscopy (XRF) for identification and quantification. Based on geochemical and spectroscopic analyses the absorptions of different minerals are identified or modelled and defined as diagnostic spectral features. These features are to some extent unique for each mineral. Additionally, analysed minerals are assumed to be pure or spectral impacts of insignificant fractions of elements on mineral compounds are neglected. However, minerals often form partial solid solutions, e.g. pyroxenes. Rocks that are built by rock forming minerals might be unique in texture and spatial distribution according to their geological and petrologic evolution. Hence, *in situ*, airborne and spaceborne acquired spectra show rather unique regionrelated mineral mixtures than pure minerals. This makes it more difficult to identify observed minerals and their fractions within one pixel. Since mineral identifications are frequently conducted in mountainous regions shadows aggravate any kind

of identification due to the decrease of reflected incident radiation. Contemporary hyperspectral sensors may considerably differ in their sensing principle, spectral and spatial resolution. This leads to sensor-specific scaling phenomena between the sensors and in situ or laboratory spectroscopy.

Within the framework of the EnMAP project [1] an approach was developed – named EnMAP Geological Mapper (EnGeoMAP) – that aims on the reduction of the previously described signal impacts. The core algorithm of the EnGeoMAP is similar to the broadly accepted Tetracorder [2] that represents a broadly accepted, knowledge-based expert system for the spectroscopic differentiation of minerals. However, it dynamically and iteratively utilises properties of the inspected acquisition and its sensor. Characteristics such as sensing geometry, spatial and spectral resolution and terrain are considered. It consists of a multistep algorithm and enables soil and geological applications such as mineral mapping, alteration zone detection, mine waste characterisation and many more. Additionally, quality flags for each inspected pixel are given. These can be incorporated in further analyses, e.g. classifications, or in succeeding iterations. The approach was tested in the Makhtesh Ramon of the Negev Desert in Israel. Here, geology has been studied for decades. One artificial EnMAP scene was synthesised on the basis of one real hyperspectral airborne scene to objectively evaluate the EnGeoMAP identification results of a spaceborne hyperspectral acquisition.

[☆] EARSeL Proceedings 12, 2/2013

* e-mail: {christian.rogass / karl.segl / christian.mielke / yvonne.fuchs / hermann.kaufmann}@gfz-potsdam.de

Materials and methods

The Makhtesh Ramon of the Negev desert in Israel (Fig. 1) was selected as case study region. The Makhtesh consists of different mineral compounds that are known and useful for testing geologically related remote sensing algorithms [3]. In preparation for the EnMAP mission an atmospherically corrected hyperspectral AISA DUAL [4] scene was used as a basis to simulate an EnMAP scene with the EnMAP-End-to-End-Simulator — EETES [5]. This scene was acquired on the 15.03.2004 at 30.4°N/34.5°E incorporating a sun azimuth of 2100 and a sun elevation of 54°.

During the EETES simulation many sensor parameters from the manufacturer were considered, such as the orbit parameters, Point Spread Function (*PSF*) for each detector, spectral and radiometric responses. In consequence, the simulated EnMAP scene consisted of 244 bands ranging from 400 to 2500 nm and incorporating a ground sampling distance (*GSD*) of 30 m. In this work, we focused on the spectral range from 2 to 2.5 μm of the Shmost significant diagnostic spectral features of minerals.

In addition, missing illumination caused by shadow casting objects such as mountains can be nearly linearly continuum normalised (compare Figure 2 that shows an average deviation from linearity of about 0.8%) only in the SWIR range.

Due to inadequate research on the impact of shadow and its removal approaches on mineral identification techniques, the scene was not corrected for shadows. However, the analysis of shadowed regions implies a reduction of the identification accuracy, since the Signal-to-Noise-Ratio (*SNR*) is significantly lower than in directly illuminated regions. Although this effect is broadly accepted, most geological mappers [6] do not fully consider the relationship between *SNR* and identification accuracy. Most of them directly compare known library spectra with unknown spectra directly assessed from the image as endmembers [7]. In this work, we rely on the USGS spectral library [8] and the feature descriptions of the Tetracorder [2]. However, this algorithm can be considered as a knowledge-based expert system to directly identify spectra of hyperspectral acquisitions. The Tetracorder has proven its

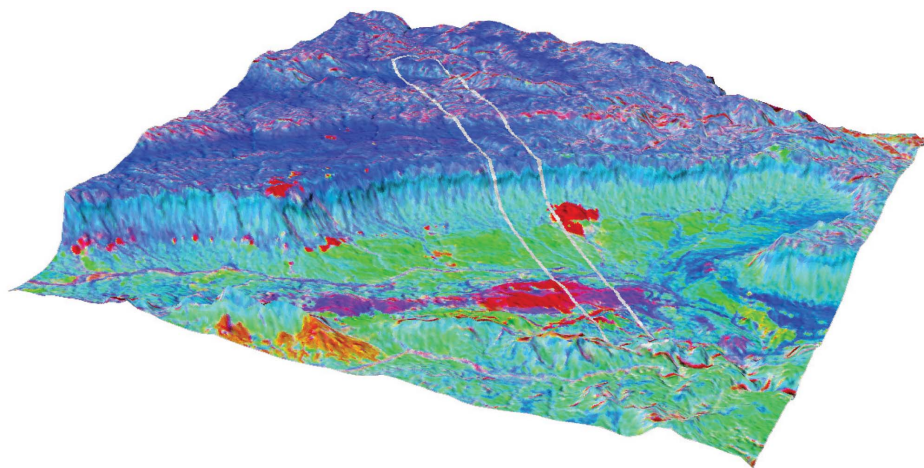


Fig. 1. Case study region Makhtesh Ramon here figured as hill shaded 3D false colour composite that is grey overlayed by the extent of the hyperspectral AISA DUAL acquisition (RGB = Landsat TM (GSD 30 m) mineral ratios 5/7 (clays), 5/4 (FeDEM (is a product of METI and NASA, GSD 15 m))

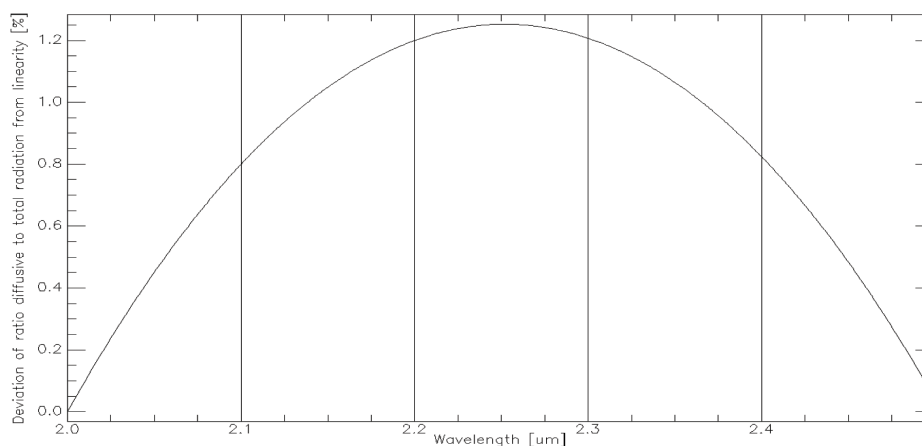


Fig. 2. Deviation of the ratio between diffuse and total radiation from linearity

applicability in the past, but provides only limited capabilities of analysing mineral compounds by modelling abundances of exclusive features [2]. However, this algorithm and other widely used algorithms [6] only consider the spectral characteristics of the sensor but not the spatial impact of the *GSD* and the *PSF* on the distribution and the abundances of spectra.

In this work, we propose a sensor-related approach that fully incorporates sensor characteristics such as the Spectral Response Function (*SRF*) and the *PSF*. With increasing sensor *GSD* the likelihood of having spectrally pure material in one pixel decreases. To avoid confusion, the material compound of each pixel is here considered to be a mixture and spectrally homogeneous regions are considered to be flat fields composed of basic mixtures. This definition is independent of the sensor and the acquisition geometry. Furthermore, it was assumed that in spectrally homogeneous regions (flat fields) pixels are linear mixtures also incorporating adjacent pixels within the effective range of the *PSF* for this detector and wavelength. The relevant range used for this work was 99 % of the *PSF*'s volume. Additionally, it was assumed that the *PSF* of different detectors are similar shaped and per scene constant. In this case, each pixel of a flat field is an isotropic mixture of itself and its neighbourhood. Nonlinear effects in flat fields only exist, if *BRDF* effects occur and, hence, the spatial extent of inspected neighbourhood should be rather narrow.

The EnGeoMAP consists of three modules — the FeatureLUT, the Basic Mixture identification and the Mixture analysis that are sketched in Fig. 3 and described in more detail in the following.

Module 1 – FeatureLUT

The Look-Up-Table (LUT) of the EnGeoMAP named FeatureLUT consists of more than 100 mineral spectra and their feature and fitting descriptions from USGS. It is similar to the Tetracorder [2] but extended with additional entries for chemical formulas, mineralisation type, alteration type etc.

To use the library and the feature descriptions with different sensors, all criteria and spectra were resampled to 1 nm resolution. In case spectra and criteria had a lower spectral resolution than 1 nm, Hermite Splines were used for interpolation. After resampling to 1 nm, a re-usable FeatureLUT was created that is still sensor-independent. This sensor-independent FeatureLUT is

then resampled to the sensor. The spectral resampling is performed by spectral deconvolution [9]. Knowledge-based fitting thresholds are also adapted in the process of resampling. This is necessary because predefined thresholds (as in Tetracorder) depend on incorporated sensors leading to misidentifications of spectra acquired by sensors with a higher spectral and spatial resolution and a better *SNR*. After resampling, the FeatureLUT is sensor-dependent, re-usable for this sensor unless its characteristics have changed, and it serves as a basis for next processing steps of the EnGeoMAP.

Module 2 – Basic Mixture identification

This module consists of three steps — the flat field detection, the mineral identification (core of the EnGeoMAP) and a Bounded Value Least Squares (BVLS) unmixing.

The flatfield detection is based on the assumption that in spectrally homogeneous regions mixtures are related to the *PSF*. In this process a moving window of an adapted size that relates to the 99 % volume threshold of the mean sensor *PSF* is used to locally compute the uncentred Pearson correlation coefficient between the spectrum of the centre pixel of the window and the spectra of all the neighbours within this window. To suppress albedo effects, the continuum of each spectrum is removed by normalising with its Delaunay approximated convex hull. In the process of continuum removal, concave curve shapes are preserved that correspond to absorptions. If all fits pass a predefined fitting threshold (by default 0.99), the pixel is binary marked as flat field pixel. This is performed for all pixels in the scene and results are stored in a binary map where all flat field pixels are marked.

After detecting flat field locations the mineral identification is carried out. For this, each spectrum of the flat field is fitted towards all library spectra of the FeatureLUT within their specific diagnostic features described by Tetracorder. All fits that pass the sensor-adapted thresholds, similar to Tetracorder, are stored in a local pixel-related list. After this, a BVLS unmixing is performed for this pixel that excludes all identified spectra that do not pass an unmixing threshold (by default 5 %, but *SNR* dependent) to remove outliers that are too noisy and not significantly abundant. All remaining, identified spectra are stored in a global list and all identification results for this pixel are rejected.

Then, the next pixel of the flat field is considered and the global list is updated. This is performed until all pixels of the flat field have been inspected. Consequently, a

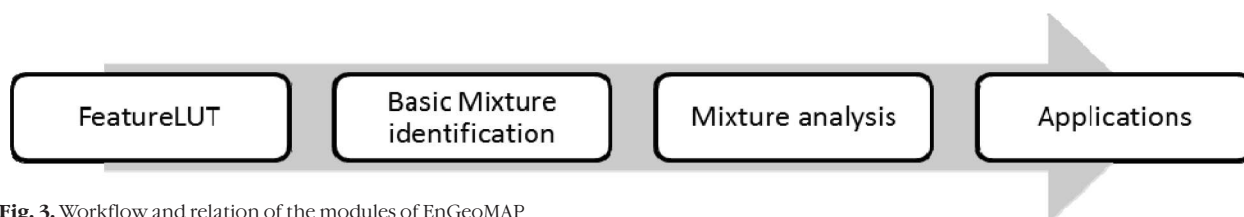


Fig. 3. Workflow and relation of the modules of EnGeoMAP

global list of matching spectra is created that is directly used in the next step.

Module 3 – Mixture analysis

In this step, all pixels are linearly unmixed on the basis of the global list by the BVLS. Again, outliers are removed by applying an abundance-related threshold (also 5 % minimum abundance by default, but SNR dependent). After this, the image is synthesised by using previously estimated abundances of identified mineral spectra.

This enables a model image to be generated that is directly comparable with the continuum removed real image. Consequently, each pixel gets an individual model error that helps to distinguish regions where spectra were accurately identified from problematic regions such as shadow regions. Additionally, a next iteration can be applied starting with module 2 to exclude these areas in advance.

As a result, each individual pixel provides wavelength-dependent information of mineral abundances, error budget and flat field potential. This is then directly applicable to hydrothermal alteration mapping in a next step such as spatial pattern analyses.

Results

The potential of the EnGeoMAP is here exemplarily demonstrated for the analysis of one hyperspectral, synthesised EnMAP scene. The evaluation of the results is based on the assumption that only a correct identification of diagnostic features and a correct estimation of abundances of minerals provide low deviations between modelled and real image spectra. The bands that encompass dominating mineral absorption features should be spatially and spectrally equivalent. This condition was mostly fulfilled for given examples (Figure 3).

For the 2.2 μm band shown in Fig. 4 a deviation between the model and the real image of about 0.5% was achieved that is close to the overall accuracy of 0.8% on average for all bands. However, the accuracy of EnGeoMAP is decreased up to 20 times for the whole spectral range in low SNR regions. Comparing the mean ratio of the diffusive to total radiation within the spectral range between 2 and 2.5 μm (about 10%) with the accuracy decreasing rate (about 20 times) for low SNR regions as in shadows clearly shows a strong relationship between the accuracy and the SNR. This is also shown

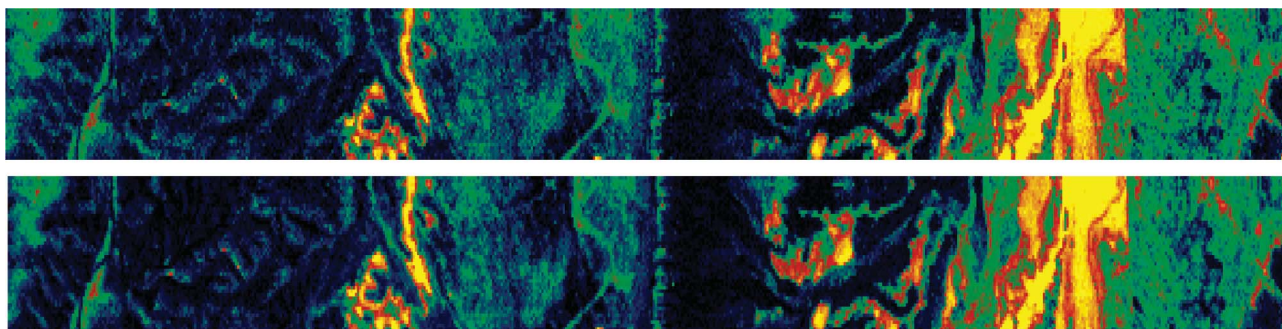


Fig. 4. Inversed colour composite for the clay absorption at 2.2 μm of the real image (top) and the model image (bottom)

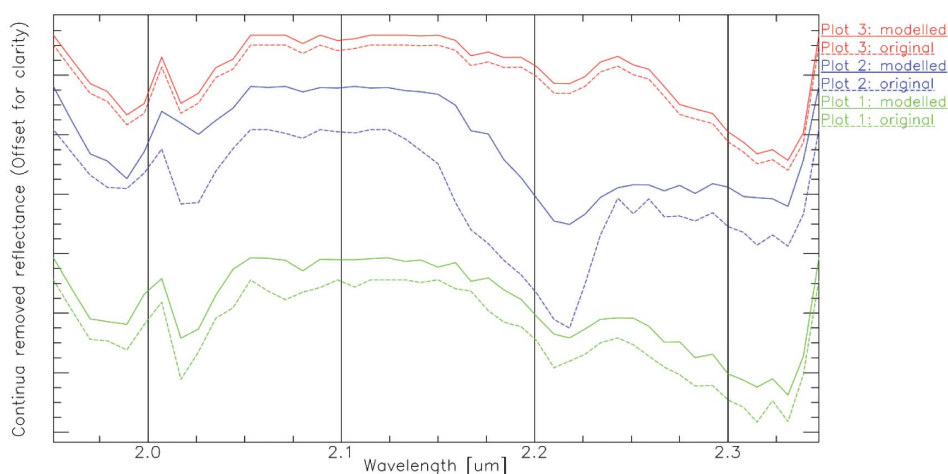


Fig. 5. Sample plots of continua removed modelled (fully analysed) spectra vs. real spectra — Plot 1: 60% Carbonate, 10% Epidote, 30% Clay and a model error of 4% — Plot 2: 30% Carbonate, 70% Clay and a model error of 15% — Plot 3: 75% Carbonate, 25% Clay and a model error of 0%

in Fig. 5 for three plots representing three different extreme SNR scenarios (Plot 1 — average SNR, Plot 2 — low SNR, Plot 3 — high SNR).

Considering only the results for these extreme regions reveals the range of potential uncertainties in assessing mineral contents, although the assessment is superimposed by the evaluation of nonrelevant spectral regions. This is exemplarily shown in Fig. 6 depicting the maximum error along the spectral dimension for each analysed pixel and its likelihood for a low albedo.

In any case, analyses in low SNR regions as in shadows should be marked spatially and error budget-related to avoid relying on average error budgets for the whole scene. A positive side effect is the potential of having weights for succeeding analyses such as classifications as given in Fig. 7 that illustrates abundance dominating minerals.

In all, EnGeoMAP achieves an identification accuracy of about 99% on average and of about 98% on average for the maximum error budgets along the spectral dimension.

Uncertainties in the BVLS unmixing and in the

identification of minerals in low SNR regions have remained so that pixel-based error budgets can be used to exclude erroneous analyses from further processing such as classification.

Conclusions

EnGeoMAP achieved high identification accuracy for this case study region. It is completely unsupervised, 100% repeatable since no random statistics are used, platform-independent and will be freely available as soon as it is implemented in the free EnMAP software named EnMAP box. Additionally, spectral and spatially homogeneity maps are provided that might be useful for other processing such as segmentation. Currently, more hyperspectral scenes are acquired in Southern Africa, Mongolia and Spain that will be used to verify and further improve the proposed EnGeoMAP approach. Additionally, XRD and XRF data will be analysed to evaluate both the reliability of the reference spectral library and the mapping results.

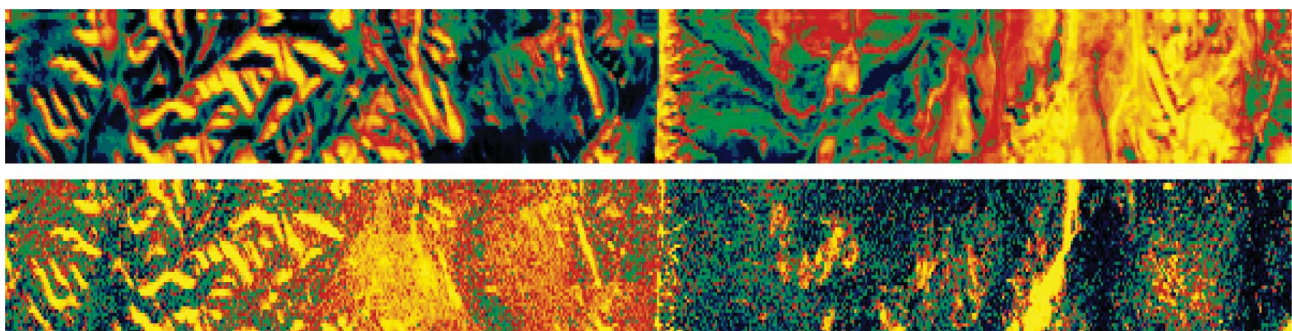


Fig. 6. Upper two quartiles of shadow and dark material abundances (top) and error budget for this scene (bottom, maximum 16% and minimum 0%) having a common spatial correlation of 88% on average

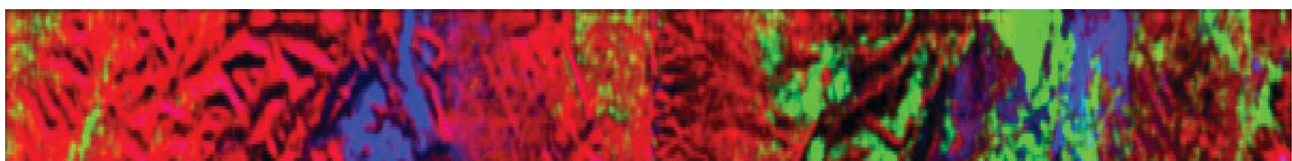


Fig. 7. False coloured RGB abundance composite of dominating minerals (Red — Carbonates, Blue — Epidote, Green — Clay minerals)

References

1. Kaufmann H., K. Segl, L. Guanter, S. Hofer, K. P. Foerster, T. Stuffer, A. Mueller, R. Richter, H. Bach, P. Hostert & C. Chlebek, 2008. Environmental Mapping and Analysis Program (EnMAP) – Recent advances and status. In: Proceedings International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Boston, MA, 7–11 July, IV-109-IV-112.
2. Clark R. N., G. A. Swayze, K. E. Livo, R. F. Kokaly, S. J. Sutley, J. B. Dalton, R. R. McDougal & C. A. Gent, 2003. Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems. *Journal of Geophysical Research*, 108(5131): 1–44.
3. Anker Y., E. Ben Dor, E. Zelikman, A. Karnieli & E. Mazor, 2009. Makhtesh Ramon, a super site for calibration and validation of is sensors. In: Proc. 6th EARSeL SIG Workshop on Imaging Spectroscopy (Ramat Aviv, Tel Aviv, Israel, 16–19 March).
4. Spectral Imaging Ltd. Aisa Dual, 2nd Version. http://www.specim.fi/media/aisa-datasheets/dual_datasheet_ver1-2012.pdf (last date accessed: 5 June 2012).
5. Segl K., L. Guanter, C. Rogass, T. Kuester, S. Roessner, H. Kaufmann, B. Sang, V. Mogulsky & S. Hofer, 2012. EeteS – The EnMAP End-to-End Simulation Tool. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing*, 5(2): 522–530.

6. van der Meer F., 2004. Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(1): 55–68.
7. Boardman J. W. (1994). Geometric mixture analysis of imaging spectrometry data. In: *Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Pasadena, CA, 8–12 August, IV-2369-IV-2371.
8. Clark R. N., G. A. Swayze, R. Wise, E. Livo, T. Hoefen, R. Kokaly & S. J. Sutley, 2007. USGS digital spectral library splib06a. U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231 (last date accessed: 23 August 2012).
9. Guanter L., K. Segl, B. Sang, L. Alonso, H. Kaufmann & J. Moreno, 2009. Scene-based spectral calibration assessment of high spectral resolution imaging spectrometers. *Optics Express*, 17 (14): 11594–11606.

ENGEOMAP — ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ДЛЯ ENMAP-MICI

К. Рогасс, К. Сегл, К. Мильке, І. Фукс, Г. Кауфман

Резюме. Гіперспектральна відеоспектроскопія має широкий діапазон прикладних програм для дистанційної ідентифікації матеріального складу поверхневого шару денної поверхні. У зв'язку з цим відмічається, що перспективний гіперспектральний сенсор ENMAP забезпечить отримання даних космічної відеоспектроскопії нового рівня якості, що дозволить вести дистанційний просторово-часовий моніторинг матеріального складу земної поверхні. Високий рівень відношення сигнал/шум ENMAP дозволяє розрізняти та ідентифікувати окремі мінерали усередині субстрату на площі 30×30 метрів по характерному поглинанню випромінювання у видимій, ближній і середній інфрачервоних зонах спектру (0,4–2,5 $\mu\text{м}$). Зазвичай в подібних завданнях використовуються підходи, засновані на методах розділення спектральних сумішей. Проте цим підходам бракує відтворюваності, повторюваності і незалежності від характеристик сенсора. Крім того, вони суттєво залежать від незмішаних спектрів, що довільно призначаються на зображенні, а також від отриманих *in situ* або лабораторно спектральних характеристик, які вважаються незмішаними, але є просторово нестабільними. У даній роботі запропоновано новий інструмент, який усуває ці обмеження стосовно характеристик сенсора ENMAP. Цей інструмент має назву ENMAP Geological Mapper — Engeomap. Він полягає в поєднанні нових і вдосконалених методів ідентифікації спектрально однорідних ділянок. Мінерали ідентифікують і приблизно оцінюють їх відносну кількість на основі даних, отриманих сенсором і відповідного інтелектуального підходу. Можуть формуватися і інші продукти у вигляді карт розподілів, однорідностей, змін. Перші результати показують, що запропонований підхід забезпечує 100% відтворюваності і дає середню помилку ідентифікації мінералів близько 2%. Запропонований в роботі підхід націлений на спектроскопічне моделювання синтезу зображень мінералів, що може бути корисне при геологічному картографуванні.

Ключові слова: гіперспектральна відеоспектроскопія, геологічне картографування, місія EnMAP, ідентифікація мінералів, аналіз сумішей

ENGEOMAP — ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ДЛЯ ENMAP-МИССИИ

К. Рогасс, К. Сегл, К. Мильке, И. Фукс, Г. Кауфман

Резюме. Гиперспектральная видеоспектроскопия располагает широким диапазоном прикладных программ дистанционной идентификации вещественного состава земной поверхности. В этой связи отмечается, что перспективный гиперспектральный сенсор EnMAP обеспечит получение данных космической видеоспектроскопии нового уровня качества, что позволит вести дистанционный пространственно-временной мониторинг минерального состава земной поверхности. Высокий уровень отношения сигнал/шум EnMAP позволяет различать и идентифицировать минералы внутри субстрата на площади 30×30 метров по характерному поглощению излучения в видимой, ближней и средней инфракрасных зонах спектра (0,4–2,5 $\mu\text{м}$). Обычно в подобных задачах используются подходы, основанные на методах разделения спектральных смесей. Однако этим подходам не достаёт воспроизводимости, повторяемости и независимости от характеристик сенсора. Кроме того, они существенно зависят от произвольно назначаемых на изображении несмешанных спектров, а также от полученных *in situ* или лабораторно спектральных характеристик, которые считаются несмешанными, но являются пространственно нестабильными. В данной работе предложен новый инструмент, который устраняет эти ограничения применительно к характеристикам сенсора EnMAP. Этот инструмент называется EnMAP Geological Mapper — EnGeoMAP. Он заключается в совокупности новых и усовершенствованных подходов к идентификации спектрально однородных участков. Минералы идентифицируются и приблизительно количественно оцениваются на основе сенсор-зависимых данных и соответствующего интеллектуального подхода. Могут формироваться и другие продукты в виде карт распределений, однородностей, изменений. Первые результаты показывают, что предложенный подход обеспечивает 100% воспроизводимости и среднюю ошибку идентификации минералов около 2%. Предложенный в работе подход нацелен на спектроскопическое моделирование синтеза изображений минералов, что может быть полезным при геологическом картировании.

Ключевые слова: гиперспектральная видеоспектроскопия, геологическое картирование, миссия EnMAP, идентификация минералов, анализ смесей

SPECTRAL RESPONSE IN-FLIGHT ESTIMATION OF SICH-2
MULTISPECTRAL SATELLITE SYSTEMM. O. Popov^{1*}, S. A. Stankevich¹, Ya. I. Zelyk², S. V. Sklyar¹, O. V. Semeniv²¹Scientific Center for Aerospace Research of the Earth of Institute of Geological Sciences NAS Ukraine (CASRE IGS NASU), Kyiv, Ukraine²Space Research Institute of NAS and SSA Ukraine (SRI NASU and SSAU), Kyiv, Ukraine

Abstract. A method for sensor spectral response estimation of Sich-2 multispectral satellite system based on satellite imaging of ground calibration test site is presented. A special parameterization of spectral response function of multispectral sensor is offered. Such parameterization provides an analytical solution of optical radiation transfer equations.

Keywords: satellite system, multispectral sensor, spectral response, ground calibration test site

© M. O. Popov, S. A. Stankevich, Ya. I. Zelyk, S. V. Sklyar, O. V. Semeniv. 2014

Multispectral satellite imaging is the basis for most applications of remote sensing. Physical modelling requires exact spectral calibration of multispectral data sources. The spectral calibration objective is the spectral sensitivity determination in each spectral band of multispectral satellite system. It is impossible to carry out radiometric calibration of multispectral satellite system and radiometric correction of multispectral imagery without spectral sensitivity.

Spectral sensitivity in j -th spectral band $S_j(\lambda)$ is used to calculate the spectral radiance L_j [1]:

$$L_j = \int_0^\infty L(\lambda) S_j(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

here $L(\lambda)$ is at-sensor spectral radiance.

Spectral sensitivity determination by imaging of i -th test object even with a known spectral reflectance $\rho_i(\lambda)$ is mathematically incorrect problem. Registered spectral radiance (1) depends on the spectral irradiance $E_0(\lambda)$ on land surface, spectral reflectance of the object of imaging and the atmosphere spectral transparency $\tau(\lambda)$. Because the real width of the spectral bands of multispectral satellite system is quite small, it is possible to consider the spectral irradiance E_j and atmosphere spectral transparency τ_j as constants within ones.

For known $\rho_i(\lambda)$ it is impossible to restore the arbitrary $S_j(\lambda)$ function from (3) by the measured value of L_j . It is offered to apply a parameterization of $S_j(\lambda)$ and $\rho_i(\lambda)$ functions for a solution of this incorrect problem. Spectral sensitivity is approximated by gaussoid with κ_j , λ_j and σ_j parameters:

$$S_j(\lambda) = \kappa_j \exp \left[-\frac{(\lambda - \lambda_j)^2}{2\sigma_j^2} \right] \quad (2)$$

and spectral reflectance of objects of imaging is approximated by linear function with a_{ij} and b_{ij} parameters:

$$\rho_i(\lambda) = a_{ij} \lambda + b_{ij} \quad (3)$$

Then the integral equation (1) becomes possible to transform into algebraic one, and gaussoid parameters can be found by least-squares method in the form of:

$$\begin{pmatrix} \kappa_j \sigma_j \\ \kappa_j \sigma_j \lambda_j \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2p}} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n b_{ij}^2 & \sum_{i=1}^n a_{ij} b_{ij} \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} b_{ij} & \sum_{i=1}^n a_{ij}^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n b_{ij} \frac{p L_j}{E_j \tau_j} \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} \frac{p L_j}{E_j \tau_j} \end{pmatrix} \quad (4)$$

The outlined method has been tested using the “Sich-2” multispectral satellite image (Fig.1) of the ground calibration test site of National Space Facilities Control and Test Center (NSFCTC), Eupatoria, Crimea.

The ground spectrometry measurements of natural and artificial objects of NSFCTC were used for spectral calibration of the “Sich-2” multispectral satellite system. These measurements were carried out synchronously with satellite imaging. Spectral reflectance curves were linearized within each spectral band of the “Sich-2” multispectral satellite system.

Preliminary results of the “Sich-2” multispectral satellite system spectral calibration are illustrated by Fig. 2 plots.

As a comparison, Fig.3 shows the laboratory spectral sensitivities of working bands of the “Sich-2” multispectral satellite system [2].

The values of parameters obtained by calibration are in good agreement with the expected ones, although some instability of measurements and results dependence on test objects configuration were observed. Systematic shift of the central wavelength for 5–10% in a short-wave spectrum and systematic narrowing of the spectral band for 10–40% were registered.

The offered parameterization model is not the only possible. An approach to the numerical solution of system of integral equations (1) for arbitrary spectral reflectance of test objects is under study now.

* e-mail: st@casre.kiev.ua



Fig. 1. “Sich-2” multispectral satellite image NSFCTC, November 8, 2011, 7.8 m spatial resolution, spectral bands 2 (0.61–0.68 μm), 3 (0.79–0.89 μm), 1 (0.50–0.59 μm)

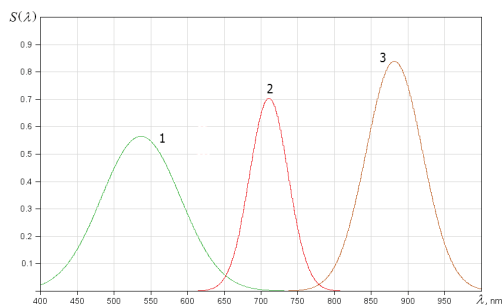


Fig. 2. Approximated spectral sensitivities of the “Sich-2” multispectral satellite system

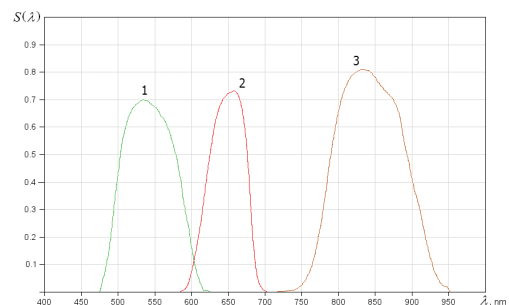


Fig. 3. Laboratory spectral sensitivities of the “Sich-2” multispectral satellite system

References

1. Stankevich S. A. Informativity of Earth remote sensing optical bands: the practical algorithms (Russian) // Space Science and Technology, 2008.- Vol.14.- No.2.- P.25-28.
2. Tyagur V. M., Likholt N. I., Kolobrodov V. G. Optical systems of space-borne multispectral scanners (Ukrainian) // Research Bulletin of National Technical University of Ukraine “KPI”, 2006.- No.6.- C.125-132.

ОЦІНКА СПЕКТРАЛЬНОЇ ЧУТЛИВОСТІ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНОЇ ЗНІМАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ СУПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ “СІЧ-2”

М. О. Попов, С. А. Станкевич, Я. І. Зелик, С. В. Шкляр, О. В. Семенів

Резюме. Представлено метод для оцінки спектральної чутливості багатоспектральної знімальної апаратури супутникової системи “Січ-2” за результатами космічного знімання тестових об’єктів наземного контрольно-калібрувального полігону. Запропоновано спеціальну параметризацію функцій спектральної чутливості багатоспектральної знімальної апаратури, що дозволяє розв’язати систему рівнянь переносу оптичного випромінювання аналітично.

Ключові слова: супутникова система, багатоспектральна знімальна апаратура, функція спектральної чутливості, наземний контрольно-калібрувальний полігон

ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМОЧНОЙ АППАРАТУРЫ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ “СИЧ-2”

М. А. Попов, С. А. Станкевич, Я. И. Зелик, С. В. Шкляр, О. В. Семенов

Резюме. Представлен метод для оценки спектральной чувствительности многоспектральной съёмочной аппаратуры спутниковой системы “Сич-2” по результатам космической съёмки тестовых объектов наземного контрольно-калибровочного полигона. Предложена специальная параметризация функций спектральной чувствительности многоспектральной съёмочной аппаратуры, позволяющая решить систему уравнений переноса оптического излучения аналитически.

Ключевые слова: спутниковая система, многоспектральная съёмочная аппаратура, функция спектральной чувствительности, наземный контрольно-калибровочный полигон

УДК 528.88:551.583

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ НАЗЕМНОГО ТА КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ АНАЛІЗУ СУЧАСНИХ ЗМІН КЛІМАТУ В УКРАЇНІ[☆]

В. І. Лялько*, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

Резюме. Проведено розрахунки температури повітря (за трендом) по території України за 112 років. Дані розрахунків свідчать про постійність вектора процесу потепління в Україні. Для оцінки достовірності даних, що використовуються для аналізу регіональних кліматичних змін та пов'язаних з ними загроз проведено співставлення значень вимірів температури повітря за даними наземних метеостанцій та даних теплового поля за космічними знімками космічних супутників Landsat 4, 5, 7 та супутника TERRA/MODIS. Отримані результати можуть слугувати підґрунтям для подальших комплексних досліджень впливу потепління клімату на умови життєдіяльності населення України.

Ключові слова: температура повітря, кліматичні зміни, Landsat 4, 5, 7, TERRA/MODIS, дистанційне зондування Землі

© В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов. 2013

Актуальність дослідження

Однією із центральних екологічних проблем людства є проблема глобальних змін клімату, яка викликає соціальне занепокоєння. Сучасна наука досягла значних успіхів у вивченні та математичному моделюванні клімату і процесів, які зумовлюють сучасне глобальне потепління клімату. В основі існуючих прогнозів лежить концепція антропогенного характеру глобального потепління, сценарії емісії джерел та стоків парникових газів і цілий ланцюг припущень, які закладені в основу розроблених сценаріїв.

При цьому досить важливим є дослідження кліматичної системи як фізичного об'єкта. Потрібно брати до уваги складність протікання в оболонках Землі процесів, неповноту відомостей про фізичні фактори, які визначають зміни в кліматичній системі, роблять принципово неможливий точний прогноз кліматичних змін. Існують великі невизначеності сценаріїв змін джерел та стоків парникових газів. Вуглецевий цикл в кліматичних моделях або не враховується взагалі, або враховується в загальному вигляді. Не досконало враховуються зворотні зв'язки в кліматичній системі. Виникають великі складності при врахуванні взаємодії атмосфери, гідросфери, кріосфери та біосфери, а також хмарного слою. Досить часто у пресі, телебаченні, особливо на сайтах Інтернет висловлюються пояснення потепління без наукового обґрунтування.

Тому у людей посилюється скептичне ставлення до достовірності отриманих результатів про зміни клімату та клімату майбутнього. Виникла необхідність в аналізі отриманих на сьогоднішній час результатів дослідження змін клімату з різних позицій.

Метою роботи є: виявлення можливостей вико-

ристання супутникової інформації разом з наземними метеорологічними даними для дослідження сучасної зміни клімату в Україні та попередження і зменшення негативних наслідків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Великим досягненням в Україні є те, що зміни клімату за наземними метеорологічними даними ведуться більше 30 років. Результати цих досліджень викладені в багаточисельних наукових працях вітчизняних дослідників: Бучинського І. Є., Логвінова К. Т. [1, 7] та нині діючих науковців: Барабаш М. Б., Бойченко С. Г., Волощука В. М., Кульбіди М. І., Мартазінової В. Ф. та інших [3, 4].

Особливості дистанційного зондування Землі для дослідження глобальних і регіональних змін клімату для виявлення вмісту в атмосфері парникових газів висвітлено в працях Лялька В. І., Сахацького О. І., Ходоровського А. Я., Костюченка Ю. В., Мовчана Д. М. [6, 8, 9, 10] та інших.

В даний час в Україні для вивчення зміни клімату тільки розпочалися дослідження з спільного поєднання наземного та космічного моніторингу. Такий моніторинг необхідний для практичного використання інформації про зміни клімату в Україні, при веденні і розвитку господарства за нових кліматичних умов, а також для вивчення клімату і його змін для цілей оптимізації взаємодії людини з природою.

Матеріали і методика досліджень

Для визначення тенденції в ряду метеорологічних величин на межі XX та XXI сторіч використано такий метод [5]. Часовий ряд Y_k — значення певної величини (в нашому випадку температури та опадів) в послідовні моменти часу τ_k можна представити у вигляді суми трьох складових:

[☆] Доповіді Національної академії наук України. 2014 (в друці)

* Тел. +380 44 486 94 05

e-mail: alex@casre.kiev.ua

$$Y(\tau_k) = f_0(\tau) + f_p(\tau) + \varepsilon(\tau) \quad (1)$$

де $Y(\tau_k)$ — значення величини у послідовні моменти часу $K = 0, N-1$; $f_0(\tau)$ — детермінована зміна, тобто тренд. Слід зазначити, що детермінована складова $f_p(\tau)$ може складатися з трендів і довгоперіодичних коливань із довжиною хвилі більшою, ніж довжина ряду; $f_p(\tau)$ — періодична компонента; $\varepsilon(\tau)$ — випадкова складова, або “шум”.

Для проведення співставлення значень вимірів температури за даними наземних метеостанцій та даних теплового поля за космічними знімками, використовувалась територія Тарханкутського півострова Криму та південно-східна частина України. Були обрані космічні супутники Landsat 4, 5, 7 та TERRA/MODIS. Вибір цих супутників обумовлено:

- наявністю в знімальній апаратурі супутників, так званого, теплового каналу (діапазон електромагнітних хвиль 10.4–12.5 мкм);
- дані з цих супутників можливо отримати за довгий період часу. Дані з супутників серії Landsat є в наявності з 1982 року, а дані з супутника TERRA/MODIS — з 2001 року.

Для досліджень були відібрані знімки з супутників серії Landsat за 1984–2013 роки, зроблені у різні роки, у різні періоди року. Відібрані знімки відзначаються практично повною відсутністю хмарності та димки. Всього було відібрано та отримано для роботи: для Тарханкутського півострову — 31 космічних знімка, для території південно-східної частини України — 29 знімків.

Для супутника TERRA/MODIS було відібрано місячний продукт температури поверхні землі MOD11C3 LST (Land Surface Temperature) з 2001 року до 2012 року за 12 місяців, тобто 144 знімків.

Для оцінки достовірності вимірів температури за даними дистанційних досліджень: для супутників Landsat та місячного продукту MOD11C3 LST використовувались 10 наземних метеорологічних станцій (Ішунь, Клепініно, Ізюм, Куп'янськ, Сватове, Артемівськ, Красноармійськ, Дебальцеве).

Перерахунок даних теплового каналу супутника Landsat в значення температури

З супутників Landsat 4, 5 в каналі 6 або в каналах 61 та 62 для супутника Landsat 7 отримуємо цифрові значення (DN — digital number), котрі не мають фізичної розмірності. З метою отримання значень температури за космічними даними, необхідно перерахувати дані теплових каналів в значення температури.

Для супутників серії Landsat такий перерахунок виконується з використанням наступних формул [11, 12]:

$$L_\lambda = \frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{cal\max} - Q_{cal\min}} \times (Q_{cal} - Q_{cal\min}) + L_{\min\lambda} \quad (2)$$

$$T = \frac{K_2}{\ln(1 + (K_1/L_\lambda))} \quad (3)$$

де, L_λ — кількісне значення випромінювання, що прийшло на сенсор, $L_{\min\lambda}$, $L_{\max\lambda}$ — мінімальне та максимальне значення випромінювання для теплового каналу Landsat (табличні значення), $Q_{cal\min}$, $Q_{cal\max}$ — мінімальне та максимальне калібрувальне значення DN (табличні значення), Q_{cal} — калібрувальне значення (DN), значення в тепловому каналі Landsat, K_1 , K_2 — калібрувальні константи (табличні значення), T — абсолютна температура в градусах Кельвіна.

Формули (2) та (3) були реалізовані в програмному продукті по обробці космічних знімків Erdas Imagine, за допомогою модуля Spatial Modeler. Використання для розрахунку теплового поля модуля Spatial Modeler програми Erdas Imagine дозволяє:

- реалізувати алгоритми перерахунків для кожного з супутників серії Landsat (4, 5, 7, 8);
- отримати після розрахунку теплові карти, де зберігається просторова прив'язка та географічна проекція;
- швидко проводити розрахунки, завдяки тому, що програма Erdas Imagine призначена саме для обробки космічних даних.

Співставлення даних теплового поля розрахованих за даними космічних супутників серії Landsat з наземними даними, проходить за наступною схемою:

1) На території дослідження обираються метеостанції та встановлюються їх географічні координати.

2) В програмі по обробці космічних знімків Erdas Imagine, запускається Viewer, в якому і відкриваємо наше перераховане теплове поле за даними космічного супутника Landsat.

3) Ставимо курсор на космічному знімку в саме ту точку, яка має координати метеостанції.

4) В таблицю програми Excel вводимо дані зняті за різні дати з кожного супутника на кожну метеостанцію.

5) Проводимо співставлення та аналіз наземних та супутникових даних.

Такий самий алгоритм використовується для співставлення даних продукту MOD11C3 з супутника TERRA/MODIS з даними наземних вимірів. Відмінність полягає в тому, що розробники цього продукту вже дають значення температури в градусах Кельвіна, тобто для роботи не треба виконувати розрахунків за формулами (1) та (2).

Виклад матеріалу

Глобальне потепління прийнято характеризувати осередненою по всій земній кулі температурою над поверхнею суші та океану по великій кількості (понад 2 500) метеорологічних станцій та замірів на кораблях погоди.

За географічним положенням більша частина території України розташована в тих широтах, де за оцінками експертів Всесвітньої метеорологічної

організації (ВМО) і зміна клімату, і посушливість клімату достатньо помітні (40–50° пів. ш.).

Для території України прояви змін глобального клімату у всіх районах підсилюються за рахунок внутрішніх факторів: зміною ландшафтів внаслідок багатовікової господарської діяльності, сучасною зміною водних ресурсів, меліорацією, процесами урбанізації.

Недоліком є те, що метеорологічні станції, які ведуть довготривалі спостереження знаходяться уже в урбанізованому середовищі. Україна є урбанізованою територією, її урбанізацію враховують з допомогою відповідних поправок, запропонованих Гребенюк Н. П., Барабаш М. Б. [2], але ці поправки також змінюються. Тому для вирішення поставлених задач слід залучати матеріали дистанційного зондування, які можуть забезпечити постійні, з географічною прив'язкою регулярні продукти для окремих геофізичних параметрів. Дистанційне зондування допоможе “збільшити масштаб” та більш коректно інтерполювати дані спостережень з метеорологічних станцій. Саме поєднання метеорологічних величин та даних ДЗЗ дуже важливе для розуміння коливань та змін клімату, особливо на території, де відносно густа сітка метеорологічних станцій (190). Таким чином, територія України може бути прикладом для отримання реальних характеристик змін клімату.

На рис. 1 представлено багаторічний хід температури повітря в Україні за період 1900–2012 роки та розрахований тренд за формулою (1). За 112 років за трендом в зоні мішаних лісів, широколистяних лісів, лісостепу зростання температури становить 0.8–1°C. В степовій зоні — близько 0.5°C.

Максимально достовірне прогнозування кліматичних змін, а також можливі негативні наслідки від їх аномальних проявів потрібно проводити з використанням, як точних наземних даних метеорологічних станцій, так і з урахуванням супутникової інформації, що дозволить технічними засобами перевірити результати досліджень зі змін клімату.

Пряме використання даних без наукового аналізу може дати на перший погляд результати, які не можна порівняти. Тому дослідницька робота полягає в пошуку закономірностей даних по супутнику і по станціях. Визначення в них наявності тенденції.



Рис. 1. Багаторічний хід річної температури повітря (°C) в Україні. 1 — фактичний хід, 2 — віковий хід (тренд)

Можливо, що і наземні дані і супутникові дані можуть показувати одну і ту ж закономірність, але величини будуть різні.

Співставлення наземних та супутникових даних проводилось за наступною методикою. Спочатку розраховувалось усереднене розходження між цими наборами даних, потім розраховувалось усереднене розходження для кожної станції, для кожного супутника серії Landsat. Наступним кроком була побудова кореляційної залежності між даними наземної температури та температури розрахованої за супутниковими даними.

Усереднене розходження для кожної станції

$$\Delta T_j = \frac{\sum_{i=1}^N (S_{ij} - G_{ij})}{N} \quad (4)$$

де G_{ij} — температура, за наземними даними з метеостанцій, S_{ij} — температура, розрахована за супутниковими даними Landsat, i — дати, на які присутні наземні та супутникові дані, j — номери метеостанцій, N — загальна кількість дат зйомки, ΔT_j — усереднене розходження в значеннях температури для окремої метеостанції.

$$\Delta T = \frac{\sum_{j=1}^M \Delta T_j}{M} \quad (5)$$

де ΔT_j — усереднене розходження в значеннях температури для окремої метеостанції, j — номери метеостанцій, M — загальна кількість метеостанцій.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що розходження між наземними та супутниковими даними різне для різних супутників серії Landsat. При порівнянні усереднених розходжень між наземними даними та даними з супутника Landsat 4, 5 за період 1984 до 1990 роки та з 2000 до 2011 роки, було виявлено значне покращення при співставленні для даних з супутника Landsat 4, 5, отриманих після 2000 року. Так для Тарханкутського півострову: за перший період усереднене розходження складає — 8.27°C, за другий період — 3.65°C. Для південно-східної частини України: за перший період усереднене розходження складає — 5.69°C, за другий період — 2.05°C.

Для супутника Landsat 7 усереднене розходження складає: для Тарханкутського півострову — 1.90°C, для східної частини України — 2.06°C.

Зроблено висновок: що для наукових цілей найкраще використовувати інформацію супутника Landsat 7. При використанні космічних знімків з супутника Landsat 4, 5 до 2000 року потрібно враховувати велике розходження з наземними даними за цей період.

Було проаналізовано можливість використання середньомісячного продукту MOD11C3 з супутника TERRA/MODIS при дослідженні змін клімату та їх наслідків. Були зіставлені наземні середньомісячні дані температури з метеостанцій та дані температури місячного продукту MOD11C3. Дані були взяті за всі

місяці, з 2001 по 2012 рр. Такий аналіз проводився по 4 станціях, дві на кожну досліджену територію. Результати співставлення даних з метеостанції “Євпаторія” та продукту MOD11C3 наведено на рис. 2.

Супутникові дані дають більші значення, порівняно з наземними. Зимові місяці дають дещо максимальне розходження, це пов'язано з природними кліматичними умовами (сніг, хмарність).

Коефіцієнт кореляції складає для Тарханкутського півострова 0.98, для південно-східної частини України — 0.97. Отже в обох випадках площинно-часовий співпадає характер розподілу температур, за супутниковими та наземними даними.

Супутникова інформація вигідно розширює можливості наземних вимірів. Перевагою супутникових даних є те, що вони свого роду площинні дані, тоді як наземні — точкові, крім того метеорологічні станції розташовані на великій відстані одна від одної. Саме при вивченні зміни клімату потрібно знати площинні характеристики метеорологічних величин, при цьому можна визначити аномалії одного знаку, виключати якісь випадкові наземні джерела тепла, які на станції не можуть бути помічені.

Крім того незамінним є використання супут-

никової інформації при виявленні та дослідженні наслідків від аномальних проявів зміни клімату. Це стан лісів при пожежонебезпечних періодах, виникненні поширення шкідників рослин; стан сільськогосподарських угідь, виявлення процесів опустелювання а також шквалів, смерчів, які носять локальний характер і можуть бути не помітні при наземному спостереженні станцій. При всіх цих випадках супутникові дані дають уяву про справжні масштаби стихійних лих, а також раннє повідомлення щодо їх виникнення.

Висновок

Виконаний аналіз температурного режиму земної поверхні і приземного шару повітря показав, що наземні дані і супутникові показують одну і ту ж закономірність. Тому супутникові дані можна вважати правомірними для використання в кліматичних прогнозах, вони повинні розглядатися в комплексі з даними наземних спостережень для вивчення негативних наслідків для природного середовища та людини прояву глобальних і регіональних змін клімату.

Наземні та супутникові дані доповнюють одні одних та дають більш об'єктивну інформацію для прогнозу змін клімату та наслідків цих змін.

Література

1. Бучинский И. Е. Климат Украины в прошлом, настоящем и будущем / И. Е. Бучинский. — К.: Гос. изд-во сельскохозяйственной литературы, 1963. — 307 с.
2. Гребенюк Н. П. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації / Н. П. Гребенюк, М. Б. Барабаш // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2004. — Вип. 253. — С. 148–154.
3. Клімат України / За ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. — Київ: В-во Раєвського, 2003. — 343 с.
4. Клімат України: у минулому... і майбутньому? / М. І. Кульбіда [та ін.] / за ред. М. І. Кульбіди, М. Б. Барабаш: Монографія. — К.: Сталь, 2009. — 234 с.
5. Кобышева Н. В. Климатическая обработка метеорологической информации / Н. В. Кобышева, Г. Я. Наровлянский. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 245 с.
6. Костюченко Ю. В. Застосування методів нелінійної просторово-часової регуляризації для аналізу даних метеорологічних спостережень / Ю. В. Костюченко [та ін.] // Космічна наука і технологія, 2013. — Т. 19. — № 5. — С. 52–59.
7. Логвинов К. Т. О многолетних изменениях температуры и осадков на Украине / К. Т. Логвинов, М. Б. Барабаш // Труды УкрНИИ. 1978. — Вып. 169. — С. 77–83.
8. Лялько В. И. Особенности дистанционного зондирования Земли при исследовании глобальных и региональных изменений климата / В. И. Лялько [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования

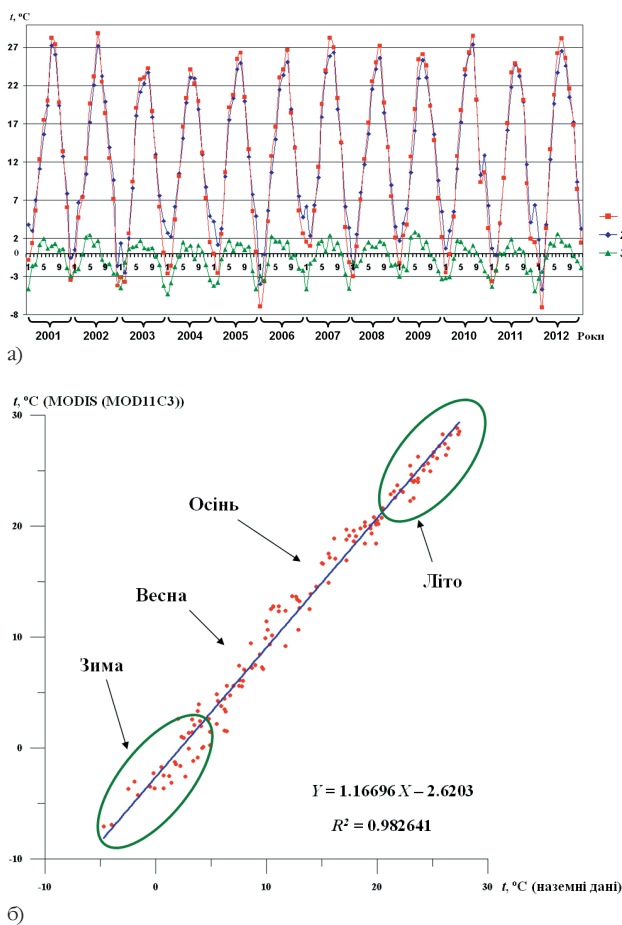


Рис. 2. Співставлення наземних місячних значень температури за даними метеостанції “Євпаторія” та температури земної поверхні за даними продукту MOD11C3

а) Графік наземних та супутникових даних температури та їх розходження

б) Рівняння регресії та коефіцієнт кореляції

- ния Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. статей. — Т. 2. — М.: GRANP polygraf, 2005. — С. 23–27.
9. Лялько В. І. Дослідження впливу CO₂ та CH₄ в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / Лялько В. І. [та ін.] // Геол. журнал. — К., 2007. — №4. — С. 7–16.
 10. Лялько В. І. Оцінка впливу астрономічних та геоботанічних факторів на формування кліматичних особливостей регіонів (на прикладі України) / В. І. Лялько, Д. М. Мовчан., С. В. Сябряй // Геоінформатика. — 2009. — №3. — С. 74–82.
 11. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / Под ред. акад. НАНУ Украины В. И. Лялько и д. т. н. М. А. Попова. Киев: Карбон-Лтд, 2012. — 436 с.
 12. Режим доступу: <http://gis-lab.info/qa/dn2temperature.html>.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ НАЗЕМНОГО И КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В УКРАИНЕ

В. И. Лялько, Л. А. Елистратова, А. А. Апостолов

Резюме. Проведен расчет температуры воздуха (по тренду) на территории Украины за 112 лет. Данные расчетов свидетельствуют о постоянности вектора процесса потепления в Украине. Для оценки достоверности данных, которые используются при анализе региональных климатических изменений и связанных с ними угроз проведено сопоставление значений измерений температуры воздуха по данным наземных метеостанций и данных теплового поля по космическим снимкам с космических спутников Landsat 4, 5, 7 и спутника TERRA/MODIS. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших комплексных исследований влияния потепления климата на условия жизнедеятельности населения Украины.

Ключевые слова: температура воздуха, климатические изменения, Landsat 4,5,7, TERRA/MODIS, дистанционное зондирование Земли

USE OF DATA OF GROUND AND SPACE MONITORING OF THE ENVIRONMENT TEMPERATURE FOR THE ANALYSIS OF MODERN CHANGE OF THE CLIMATE IN UKRAINE

V. I. Lyalko, L. O. Elistratova, O. A. Apostolov

Abstract. The calculation of the air temperature (on a trend) within the territory of Ukraine for 112 years has been done. Data of the calculations show the permanency of the vector of process of warming in Ukraine. To evaluate the reliability of data, which are used for the analysis of the regional climatic changes and the threats connected with them, the comparison of the values of measurements of the air temperature according to the ground meteorological stations and data of a thermal field of the space images from satellites Landsat 4, 5, 7 and satellite TERRA/MODIS has been carried out. The received results can be used for the further complex researches of influence of warming of a climate on the conditions of the vital activity of the population of Ukraine.

Keywords: temperature of air, climatic changes, Landsat 4,5,7, TERRA/MODIS, remote sensing of the Earth

УДК 553.3/9:528.8.04](477)

АЕРОКОСМІЧНІ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ В УКРАЇНІ

В. І. Лялько^{1*}, О. Т. Азімов¹, Є. О. Яковлев²¹ДУ "Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна²Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

Резюме. У статті розглянута актуальність застосування сучасних дистанційних аерокосмічних, гідрогеологічних та інформаційних технологій у процесі вирішення завдань екологічної безпеки гідросфери при видобутку сланцевого газу в Україні. Наведені деякі приклади пілотного впровадження цих технологій в межах Юзівської ділянки і прилеглих до неї площ, а також району Західно-Михайлівської структури Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: сланцевий газ, розломні зони, підземні води, моделювання масопереносу, космічні зйомки, екологічна безпека

© В. І. Лялько, О. Т. Азімов, Є. О. Яковлев. 2014

Україна зацікавлена в одержанні нових енергетичних джерел на своїй території, оскільки широке використання занадто дорогого імпортованого газу не дозволяє як підвищити загальний добробут населення, так і створити конкурентноспроможну експортну складову економіки країни.

Тому слід підтримувати ті кроки владних структур, які спрямовані на енергозабезпечення та пошуки альтернативних джерел енергії.

У цьому плані слід розглядати і перспективи видобутку сланцевого газу в Україні, не переносючи дискусії в політичну площину, але враховуючи можливі екологічні ризики при закачці в надра технологічних розчинів гідророзриву порід.

Для виявлення та оцінки таких ризиків, зокрема, щодо забруднення основних горизонтів прісних підземних вод, які є стратегічним ресурсом гарантованого питного водопостачання з використанням сучасних космічних та інформаційних технологій.

Тому на етапах планування та проведення експлуатаційних робіт на сланцевий газ слід вимагати від виконавців (компанії Shell, Chevron, Exxon Mobil) дотримання високих технологічних та екологічних стандартів, зокрема, виконати прогнозне комп'ютерне моделювання розповсюдження розчинів гідророзриву в сланцевих пластах з використанням матеріалів багатоспектральних космічних зйомок для виявлення проникних розломних зон як шляхів вертикальних перетоків, що зумовлюють забруднення питних водоносних горизонтів.

При цьому для надійного виявлення проникних розломних зон слід використовувати матеріали багаторазових багатоспектральних космічних зйомок високого просторового розрізнення (до 1–5 м) не лише у видимому діапазоні електромагнітного спектру, але й у тепловому та радіохвильовому діапазонах, що доз-

волить залучити до ідентифікації таких зон ефекти розушільнення та водонасичення порід в їх межах.

Комплекс вказаних робіт, враховуючи їх оперативний (декілька місяців для всієї досліджуваної площі) та економічність, повинен бути виконаний перед тим, як почнуться наземні детальні газо- і геохімічні зйомки та інтерпретація геофізичних даних для вирішення задач зменшення екологічних ризиків при видобутку сланцевого газу, які потребують більш тривалого часу й більших асигнувань.

Для підвищення оперативності вказаних робіт та підтримки науково-дослідного потенціалу країни для їх виконання доцільно залучити вітчизняних фахівців, що мають багаторічний досвід практичного використання сучасних гідродинамічних, хімічних, інформаційних та космічних технологій при вирішенні задач пошуків та експлуатації нафтогазових покладів та захоронення у надра промислових стоків.

Починати подібні дослідно-експериментальні роботи слід, перш за все, на 2–3-х типових за геологічними умовами ділянках-полігонах, вибраних відповідно в межах виділених Юзівської (рис. 1, 2) та Олеської ліцензійних площ [1].

На цих полігонах, як наприклад на **Юзівській ліцензійній ділянці** та прилеглих площах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), використавши матеріали космічних зйомок (рис. 1), геолого-геофізичних (рис. 2), геохімічних робіт та комп'ютерного моделювання геофільтрації (рис. 3–6) з урахуванням фізико-хімічної сумісності гідророзривних та порових розчинів і гірських порід (для цього слід визначити їх хімічний склад) доцільно випробувати особливості технології видобутку сланцевого газу в типових умовах України, зокрема, вибору місць оптимального розташування нагнітальних свердловин, враховуючи положення проникних розломних зон.

* e-mail: casre@casre.kiev.ua

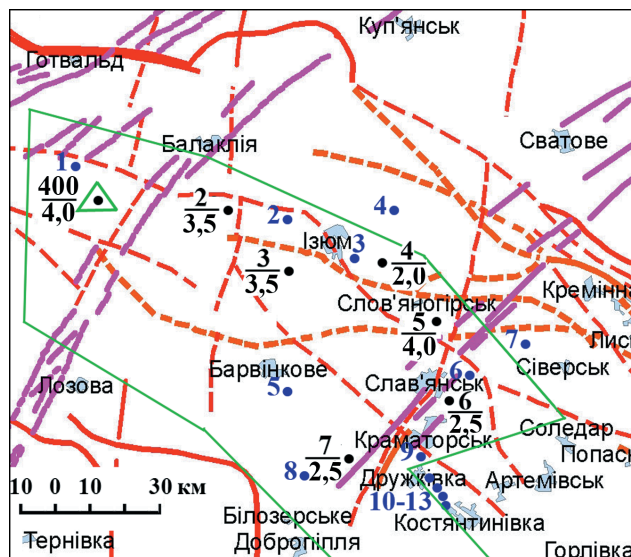


Рис. 1. Юзівська ліцензійна ділянка і прилеглі площі ДДЗ. Картосхема розташування місць основних водозаборів питних вод (K_{ct} , J ; точки синього кольору) і потенційних площ видобутку сланцевого газу (точки чорного кольору) з урахуванням основних розривних порушень і лінеamentів. Потенційні площі видобутку сланцевого газу (чисельник — номер площі, знаменник — очікувана середня глибина пласта, км): 400 — Біляївська (позначена трикутником салатового кольору), 2 — монокліналь на ПдСх від м. Балаклія, 3 — Співаківська, 4 — Краснооскольська, 5 — Святогірська, 6 — Слоб'янська, 7 — Троїцька. Місця основних водозаборів питних вод (K_{ct} [$h = 200 + 800$ м], J [$h = 300 + 1200$ м]): 1 — м. Первомайський, 2 — м. Балаклія, 3 — м. Ізюм, 4 — смт. Борова, 5 — м. Барвінкове, 6 — м. Слоб'янськ, 7 — м. Сіверськ, 8 — мм. Білозерське і Добропілля, 9 — м. Краматорськ, 10–13 — м. Дружківка. Побудовано з використанням даних праць [1–5]

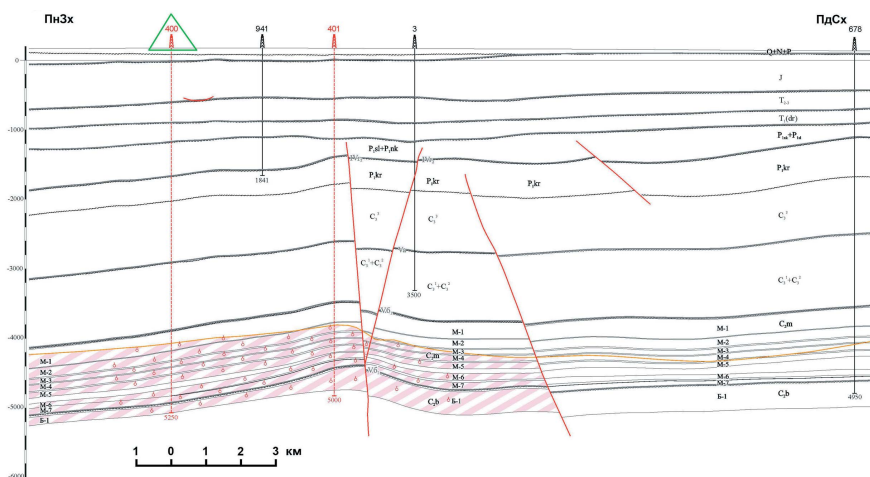


Рис. 2. Біляївська площа. Фрагмент сейсмогеологічного розрізу по лінії свердловин 400–941–401–3–678 з указанням свердловини глибокого буріння на сланцевий газ Біляївська-400 (позначена трикутником). Побудовано з використанням даних праць [4]

Тільки після виконаного аналізу за одержаними на полігонах матеріалами можна робити компетентні та надійні висновки щодо подальшого розвитку подій по видобутку сланцевого газу в Україні, зокрема щодо величини його запасів.

Обґрунтування підземного захоронення промислових стоків у межах Західно-Михайлівської структури ДДЗ. Надра Західно-Михайлівської структури перспективні для захоронення промислових стоків, оскільки в зоні повільного водообміну відсутні промислові нафтогазопрояви, що вміщують піщані породи-колектори у відкладах ранньо- і середньокам'яновугільного віку, а в покрівлі залягають добре витримані глинисті водоупори байосу і верхнього триасу.

Трохи несприятливі геоструктурні і гідрогеологічні умови для герметизації захоронених стічних вод зумовлені розташуванням Західно-Михайлівського підняття в області виклинювання глибинних водоносних горизонтів і можливого розвантаження висхідних пластових вод по зонах тектонічних порушень, що пересікають осадові породи в межах структури. Тому розташовувати нагнітальні свердловини доцільно на максимальному віддаленні від таких зон. Перед закладанням слід розрахувати їх оптимальний режим і строк експлуатації з метою недопущення прориву промислових стоків із пластів-колекторів, що залягають на глибинах від 500 до 1 200 м.

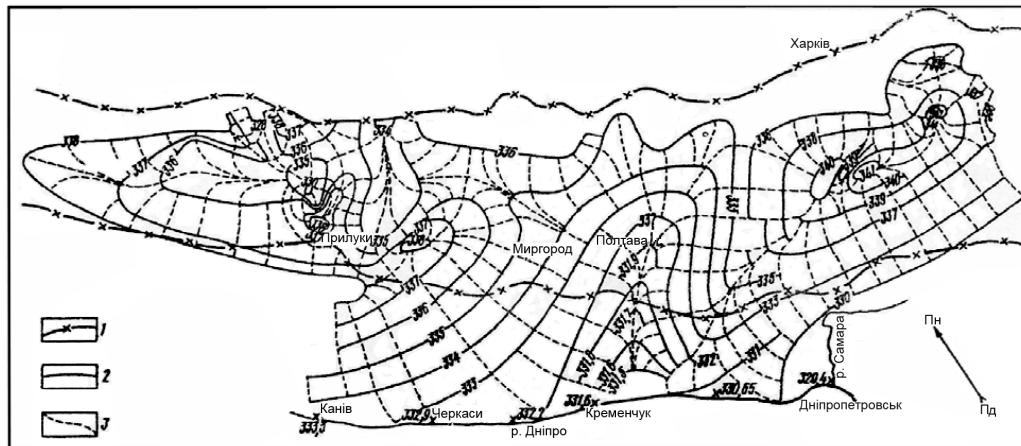


Рис. 3. Моделювання підземного масопереносу в задачах захоронення промислових стоків у надра ДДЗ [6]. Гідродинамічна сітка нижньо-опермсько-верхньокам'яновугільного комплексу Дніпровсько-Донецької западини: 1 — крайові розломи западини; 2 — ізолінії приведенних напорів, м; 3 — лінії току

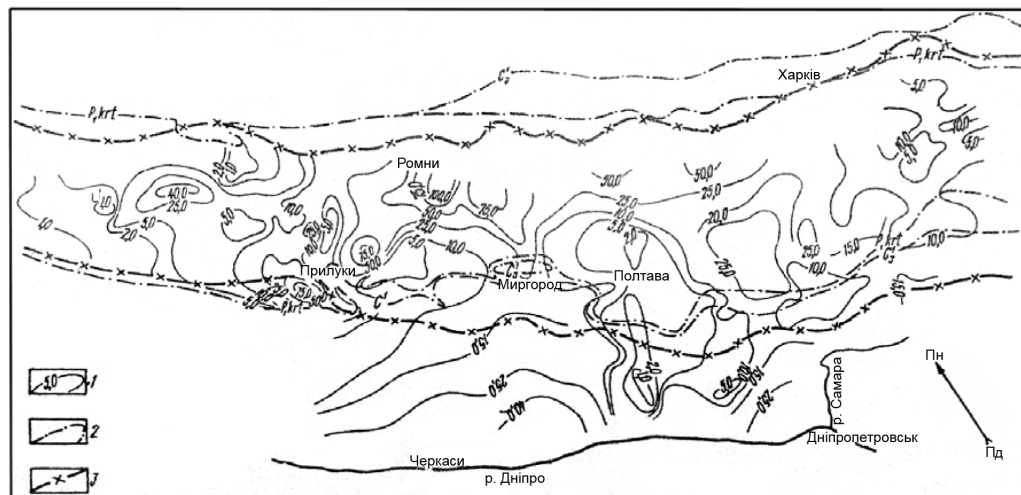


Рис. 4. Карта відкоригованих значень коефіцієнтів водопровідності нижньоопермсько-кам'яновугільного комплексу Дніпровсько-Донецької западини [6]: 1 — ізолінії значень коефіцієнтів водопровідності, $\text{м}^2/\text{доба}$; 2 — границя розповсюдження водоносного комплексу; 3 — крайові розломи западини

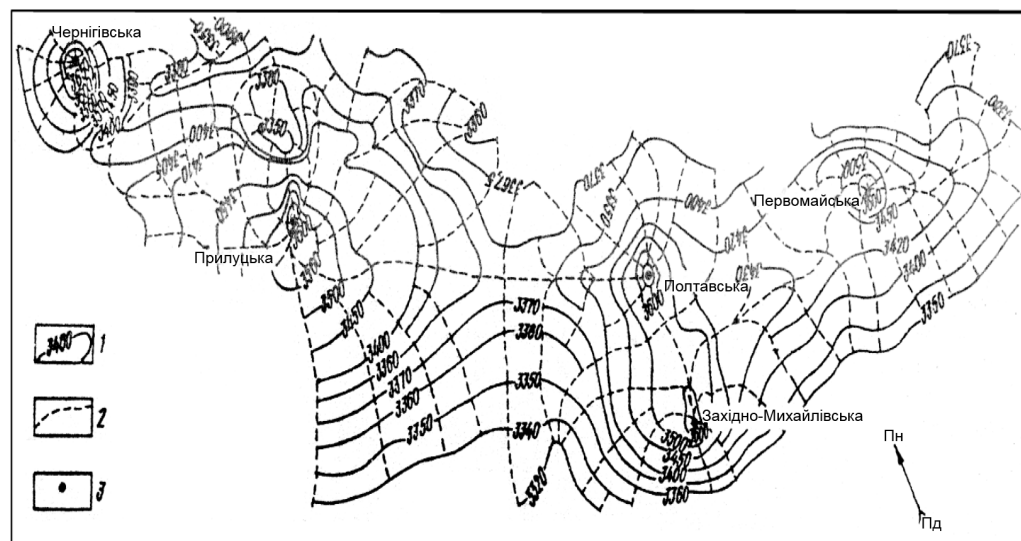


Рис. 5. Прогнозна гідродинамічна сітка нижньоопермсько-верхньокам'яновугільного водоносного комплексу Дніпровсько-Донецької западини [6]: 1 — ізолінії приведенних напорів, м; 2 — лінії току; 3 — прогнозовані нагнітальні свердловини

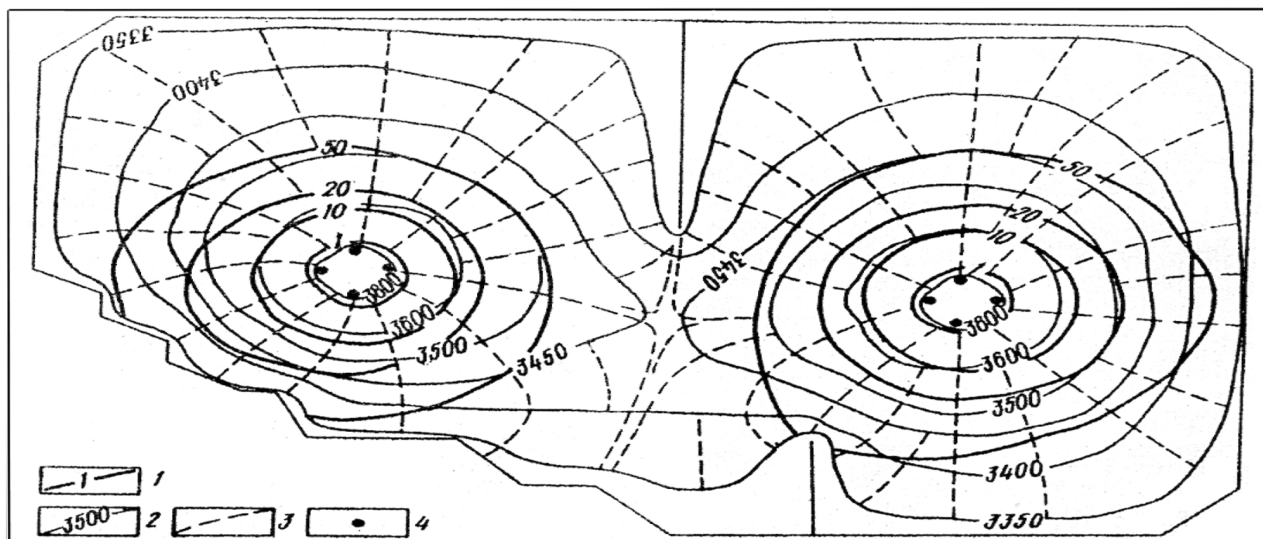


Рис. 6. Прогнозна гідродинамічна сітка пласта-колектора Західно-Михайлівського підняття [6]: 1 — положення фронту промислові стоки-пластові води від початку нагнітання через проміжки часу, роки; 2 — ізолінії приведених напорів, м ; 3 — лінії току; 4 — прогнозовані нагнітальні свердловини. Результати моделювання і розрахункові дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Характеристики прогнозного режиму захоронення промислових стоків в надра ДДЗ [6]

Напітальна система	Період часу з початку експлуатації, роки	Витрати нагнітальної рідини, $\text{м}^3/\text{доба}$, що визначені		Витрати однієї нагнітальної свердловини, $\text{м}^3/\text{доба}$	Кількість нагнітальних свердловин у батареї	Коефіцієнт гідропроницаєності, $\text{м}^2/\text{доба}$	Водопровідність пласта-колектора, $\text{м}^2/\text{доба}$ (у чисельнику), ефективна потужність, м (у знаменнику)	Приведений радіус впливу, м
		на моделі	розрахунковим шляхом					
Чернігівська	10	1 750	1 570	360	5	$2.7 \cdot 10^4$	<u>20</u>	14 900
	30	1 600	1 440	350	5		50	25 800
	Стационар	1 230	1 280	340	5			35 000
Прилуцька	10	14 300	15 320	4 010	5	$1.6 \cdot 10^5$	<u>240</u>	36 300
	30	12 680	13 680	3 850	5		100	62 800
	Стационар	12 190	12 300	3 750	5			90 000
Полтавська	10	4 290	3 660	680	5	$9.1 \cdot 10^3$	4.0	8 600
	30	3 690	3 130	720	5		300	14 900
	Стационар	2 570	2 760	680	5			25 000
	„*„	2 570	2 480	680	4			25 000
Західно-Михайлівська	10	5 320	4 440	930	5	$1.15 \cdot 10^4$	<u>50</u>	9 700
	30	4 750	3 790	890	5		300	16 800
	Стационар	3 830	3 300	850	4			31 000
	„*„	3 830	3 970	850	8			31 000
Первомайська	10	9 460	7 540	1 500	5	$7.80 \cdot 10^3$	8.0	8 000
	30	8 380	6 390	1 440	5		700	13 900
	Стационар	7 660	5 380	1 360	5			28 000
	„*„	7 660	7 000	1 360	10			28 000

Висновки

Не можна запускати в дію мега-проект “Сланцевий газ України”, не виконавши комплексу попередніх дослідно-експериментальних полігонних робіт з залученням сучасних інформаційних та космічних технологій для виявлення та оцінки впливу видобутку сланцевого газу на екологію довкілля, зокрема, на питні водоносні горизонти (сеноман-юра) ДДЗ.

Для підвищення ефективності цих робіт — залучити вітчизняних фахівців, що мають відповідний досвід у вирішенні подібних задач, зокрема, при захороненні промстоків у надра.

З допомогою моделювання на РС вирішена задача захоронення стічних вод у нижньопермсько-кам'яновугільні піщаники в Дніпровсько-Донецькій западині для п'яти полігонів: Чернігівського, Прилуцького, Полтавського, Первомайського і Західно-Михайлівського.

Література

1. Юзівська площа: Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії — Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki>.
2. Тектоника нефтегазоносных областей юго-запада СССР / Гарецкий Р. Г., Глушко В. В., Крылов Н. А. [и др.]. (Объясн. записка к Тектон. карте нефтегазоносн. областей юго-запада СССР с использованием материалов косм. съемок. — М-б 1:500 000). — М.: Наука, 1988. — 85 с.
3. Екологічний атлас України / Гол ред. Л. Г. Руденко. — К.: “Центр екологічної освіти та інформації”, 2009. — 104 с.
4. Белінський М. Й. Проект пошукових робіт на відклади московського та верхньої частини башкирського ярусів кам'яновугільної системи на Біляївській площі Павлівсько-Світлівської ділянки надр / М. Й. Белінський [та ін.]. — УкрНДІгаз. — Харків, 2012.
5. Колісніченко В. Г. Звіт про проведення сейсморозвідувальних робіт 2D МСГТ на Павлівсько-Світлівській площі ДДЗ / В. Г. Колісніченко [та ін.]. — ПрАТ “Геофізична компанія НАДРА”. — К., 2012.
6. Лялько В. И. Моделирование гидрогеологических условий охраны подземных вод / В. И. Лялько, Ю. С. Бут, Ю. Ф. Филиппов, Г. А. Шнейдерман. — Киев: Наук. думка, 1980. — 192 с.

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА В УКРАИНЕ

В. И. Лялько, А. Т. Азимов, Е. А. Яковлев

Резюме. В статье рассмотрена актуальность применения современных дистанционных аэрокосмических, гидрогеологических и информационных технологий в процессе решения задач экологической безопасности гидросферы при добыче сланцевого газа в Украине. Наведены некоторые примеры пилотного внедрения этих технологий в пределах Юзовской участка и прилегающих к нему площадей, а также района Западно-Михайловской структуры Днепровско-Донецкой впадины.

Ключевые слова: сланцевый газ, разломные зоны, подземные воды, моделирование массопереноса, космические съемки, экологическая безопасность

AEROSPACE AND HYDROGEOLOGICAL METHODS FOR THE ECOLOGICAL SAFETY IN THE PROCESS OF SHALE GAS PRODUCTION IN UKRAINE

V. I. Lyalko, O. T. Azimov, Ye. O. Yakovlev

Abstract. The article considers the relevance of the application of modern remote aerospace, hydrogeological and information technologies in solving the environmental security of the hydrosphere when shale gas will be production in Ukraine. Place your certain examples of the pilot implementation of these technologies within the Yuzivka area and adjacent areas, as well as the district of the Zakhidno-Mikhaylivska structure of the Dnieper-Donets Depression.

Keywords: shale gas, fault zones, underground waters, mass transfer simulating, space survey, ecological safety

УДК 528.8.04:551.4

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ КАРПАТ З ВИКОРИСТАННЯМ НАЗЕМНОГО ХЛОРОФІЛЬНОГО ІНДЕКСА ТА ПОЗИЦІЇ ЧЕРВОНОГО КРАЮ ЗА ДАНИМИ ВІДЕОСПЕКТРОМЕТРА MERIS[☆]

В. І. Лялько, З. М. Шпортюк, О. І. Сахацький*, О. М. Сибірцева

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

Резюме. Наведено результати попередніх досліджень можливості використання даних відеоспектрометра MERIS для класифікації земного покриву Українських Карпат. При дослідженнях використано дані космознімання супутника ENVISAT MERIS від 16.04.2004 року з грубою просторовою розрізненістю 1 200 м, на основі яких для району досліджень обчислено попіксельно величини індексів REP, MTCI та NDVI. Метод мінімальної відстані до середнього застосовано до множин даних цих індексів для класифікації земного покриву. Результати досліджень показали, що зображення ENVISAT MERIS із грубою просторовою розрізненістю забезпечує середній результат класифікації: добре класифікуються лише хвойні ліси та покриті снігом вершини. Класифікація з використанням множин індексів REP та MTCI дає кращі результати, ніж класифікація на основі значень відбиття. Результати досліджень показали добру кореляцію між REP і MTCI та високий потенціал для моніторингу екосистем в гірських районах з використанням комбінації обох індексів.

Ключові слова: відеоспектрометр MERIS, індекси червоного краю, класифікація земного покриття

© В. І. Лялько, З. М. Шпортюк, О. І. Сахацький, О. М. Сибірцева. 2006

Вступ

Ліси в Українських Карпатах покривають досить великі площі. Поряд із природними лісами значну територію займають ліси, що інтенсивно висаджувалися після 1945 року. Ліси відіграють важливу роль у збереженні екологічної рівноваги. Зміни, які відбуваються в лісах, впливають на кліматичні процеси як на регіональному, так і на глобальному рівні. За останні роки, в зв'язку з вирубками лісів, в Карпатському регіоні значно загострилися екологічні проблеми. Тому необхідний сталий контроль за станом лісів, який досить ефективно може здійснюватись на основі використання даних сучасних супутникових систем, зокрема, багатозональних і гіперспектральних зйомок. Відеоспектрометр середньої розрізненості MERIS (the Medium Resolution Imaging Spectrometer) встановлений на супутнику ENVISAT 1, запущеному 1 березня 2002 року. Він має 15 каналів шириною від 2.5 до 20 нм в діапазоні 390–1040 нм, та просторову розрізненість 300 м (FR — *full resolution*) і 1200 м (RR — *reduced resolution*). Період спостереження території 3 доби. Це робить MERIS потенційно цінним сенсором для спостереження та моніторингу наземного середовища, зокрема, стану лісів, як на регіональному, так і на глобальному рівні [1, 4]. Наявність 5 каналів шириною до 10 нм в червоній та близькій інфрачервоній зонах електромагнітного спектру дає мож-

ливість отримати інформацію про біофізичні параметри рослинності, яка необхідна для оцінювання стану рослинності та її продуктивності, використовуючи величини таких вегетаційних індексів, як NDVI (the Normalized Difference Vegetation Index), REP (the Red Edge Position) і MTCI (the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index) [6].

На основі попіксельного обчислення вегетаційних індексів за даними MERIS, можна формувати нові зображення, для аналізу яких можна використовувати ті ж методи класифікації, що і для зображень, побудованих за даними спектрів відбиття.

Джерело даних та методи

Зображення ENVISAT MERIS від 16-го квітня 2004 р. із просторовою розрізненістю 1 200 м, надане Європейським космічним агенством (ESA) в рамках проекту BEAR, використано при дослідженні покриву Українських Карпат. Специфікації спектральних каналів задані на Web-сторінці (Meris User Guide) [8]. Дані MERIS конвертовано до формату ERDAS Imagine за допомогою програм BEAM та ENVI.

На рис. 1 наведено схематичну карту земного покриву Українських Карпат, на якій прямокутником позначено область досліджень. Вона розташована в Західній Україні у гірському районі Карпат. Досліджувана територія обмежена координатами 23°20'–24°50' с. д. та 48°00'–49°15' пн. ш. Фрагмент зображення ENVISAT MERIS (комбінація каналів 4, 7 та 14) досліджуваної території наведено на рис. 2.

Зображення KA Landsat 7 ETM+ від 5 травня 2000 р. використано для зіставлення з даними MERIS. Інвентаризаційні лісотаксаційні дані, структуровані відпо-

[☆] Класифікація земного покриву Карпат з використанням наземного хлорофільного індексу та позиції червоного краю за даними відеоспектрометра MERIS / В. І. Лялько, З. М. Шпортюк, О. І. Сахацький, О. М. Сибірцева // Космічна наука і технологія. — 2006. Т. 12. № 5/6. С. 10–14.

* e-mail: sakhatsky@casre.kiev.ua

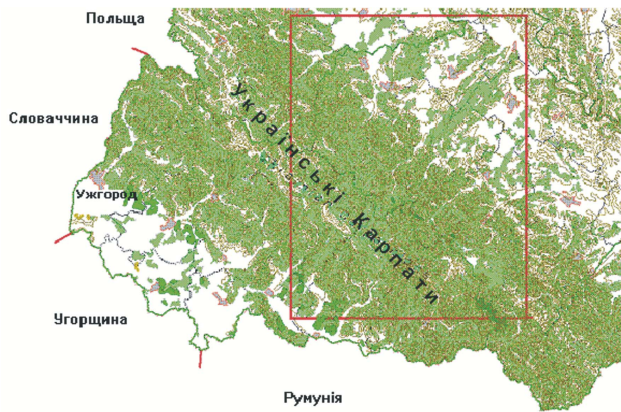


Рис. 1. Схематична карта регіону Українських Карпат. Область досліджень позначено червоним прямокутником.

відно до типів лісової рослинності та адміністративних площ, використано як наземні завірювальні дані для класифікації земного покриву за космоснімками. Інвентаризаційні лісотаксоційні дані включають інформацію про видовий склад дерев, вік, висоту та ін. для відносно однорідних площ (первинні інвентаризаційні одиниці). Ці дані, які зібрані в 1996 р., в GIS-форматі нанесено на територію Карпатського національного природного парку і використано в дослідженнях. Кількість первісних інвентаризаційних одиниць на досліджуваному полігоні перевищує сотню. На досліджуваній території переважають однорідні хвойні ліси з перевагою ялини. Соснові і листяні дерева (здебільшого бук та вільха) на деяких ділянках також покривають значну територію. Класифікація супутникових даних здійснювалась з використанням програмних модулів ERDAS Imagine. Метод мінімальної віддалі до середнього використано для класифікації MERIS-даних, тому що деколи площі інтересу покривали заледве 1–2 піксели зображення.

Для класифікації зображення Landsat ETM+ (рис. 2f) використано правило максимальної ймовірності, щоб одержати більш точні дані для порівняння. Надійність класифікації зображення високої розрізненості для головних класів покриву зем-

ної поверхні, звичайно, становить 85–95% згідно з нашими дослідженнями. Виконано аналіз спектральних яскравостей для класифікації зображення з метою побудови карти розподілу вегетаційних спільнот. Це дослідження використовує навчання та класифікацію. Результатом процесу навчання була множина сигнатур для вибраних класів. Спектральні характеристики виділених класів лісової рослинності та різних ландшафтів були встановлені з використанням 4–5 тестових ділянок в межах площ кожного класу.

Класифікація наземного покриву за даними ENVISAT MERIS здійснювалась за двома варіантами даних. В одному варіанті для класифікації використано зображення, побудоване за множиною коефіцієнтів відбиття (TOA reflectance) [4], обчислених попіксельно для даних 15 каналів відеоспектрометра MERIS. Синтезоване зображення земної поверхні за цими даними, наведено на рис. 2e. У другому варіанті, за даними попіксельного обчислення вегетаційних індексів NDVI, REP та MTCI побудовано NDVI-зображення (рис. 2a), REP-зображення (рис. 2b), MTCI-зображення (рис. 2c) та синтезоване тришарове (NDVI, REP, MTCI) зображення (рис. 2d), яке використовувалось для класифікації земного покриву за методом MMDM.

Побудова NDVI, REP та MTCI зображень за даними ENVISAT MERIS.

Обчислення REP Для оцінки стану рослинного покриву, зокрема для виділення ділянок із здоровою та пригніченою рослинністю за даними дистанційного зондування Землі разом із значеннями спектральних яскравостей, коефіцієнтів відбиття та різноманітними вегетаційними індексами використовується і така характеристика, як позиція червоного краю спектрів відбиття (REP). За означенням [7], REP — довжина хвилі із інтервалу 680–760 нм, на якій швидкість зміни спектра відбиття досягає максимуму. Значення REP може бути обчислено різними способами: за методом 4-точкової лінійної інтерполяції

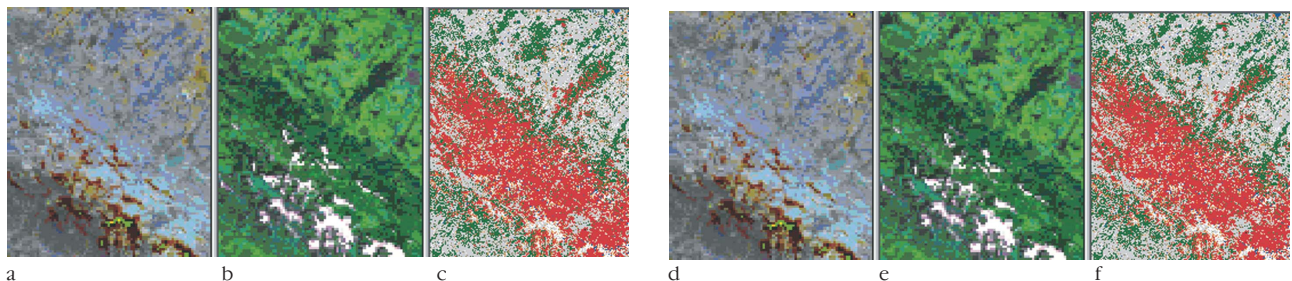


Рис. 2. Зображення основної дослідної ділянки Українських Карпат: а) NDVI зображення за даними MERIS; величини NDVI змінюються від -0.4 (темно сірий колір) до +0.6 (світло сірий колір); б) REP зображення за даними MERIS; темно сірий колір відповідає значенням REP із проміжку 700–714 нм, сірий колір — 715 (REP (720 нм, світло сірий колір 720 (REP (730 нм, білий колір позначає REP > 730 нм; в) MTCI зображення; темно сірий колір відповідає значенням з інтервалу [1.0, 1.5], сірий — з інтервалу [1.6, 2], світло сірий [2.0, 2.6]; г) синтезоване зображення, сформоване на основі 3-х зображень: NDVI, REP, MTCI; е) зображення, сформоване за даними MERIS (синтез коефіцієнтів відбиття в 4, 7, 14 каналах); ф) фрагмент класифікованого зображення Landsat 7 ETM+, яке використовується як довідкові дані; червоним кольором позначено хвойні ліси; зеленим — листяні; сірим — пасовища, сільськогосподарські угіддя, вирубки; оранжевим — населені пункти; білим кольором позначено сніг

[3, 6], з використанням методу інтерполяції Лагранжа першої похідної спектра за значеннями його похідних в 3-х точках хвильового відрізка, розташованого в області червоного краю [7], або з використанням похідних спектра, апроксимованого лінійною комбінацією степенів поліномів Чебишова [1, 2, 5].

Наведемо формули обчислення REP з умови максимуму першої похідної спектра відбиття, апроксимованого з використанням методу найменших квадратів сумою 5-и членів ряду, розвиненого за поліномами Чебишова, і за методом 4-точкової лінійної інтерполяції, модифікованим для даних сенсора MERIS [6]. Апроксимація спектра поліномами Чебишова має вигляд:

$$R(\lambda) = C_0 + C_1 T_1(\lambda) + C_2 T_2(\lambda) + C_3 T_3(\lambda) + C_4 T_4(\lambda), \quad (1)$$

де $T_m(t)$ — поліноми Чебишева першого роду m -го степеня, $T_m(t) = \cos[m(\arccos t)]$, $|t| \leq 1$; $m \geq 2$; $T_1(t) = t$; $R(\lambda)$ — значення коефіцієнта відбиття на довжині хвилі λ . Коефіцієнти C_i ($i = 0, 1, 2, 3, 4$) визначаються за методом найменших квадратів. Тоді REP визначається з умови $R'(REP) = \max R'(\lambda)$, $\lambda \in [670, 780]$ нм, де $R'(\lambda)$ — перша похідна апроксимованого спектру.

Згідно з методом 4-точкової лінійної інтерполяції, REP для даних сенсора MERIS, визначається за формулами [7]:

$$\bar{R} = \frac{R_7 + R_{12}}{2}, \quad (2)$$

$$REP = 70875 + 45 \frac{(\bar{R} - R_9)}{(R_{10} - R_9)} = 70875 + 45 \frac{(\bar{R} - R_{70875})}{(R_{75375} - R_{70875})}.$$

Тут R_i — значення коефіцієнта відбиття в i -тому каналі, $i \in [7, 9, 10, 12]$. Зауважимо, що обчислені різниці способами значення REP можуть не співпадати. В роботі наведено результати обчислень REP лише методом (1), який є оптимальним щодо часу в порівнянні з іншими методами [2, 7].

Обчислення MTCI. Одним із нових вегетаційних індексів, які використовують значення коефіцієнтів відбиття на довжинах хвиль із області червоного краю, є запропонований англійськими вченими [6] наземний хлорофільний індекс MTCI — the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index. Згідно з означенням, MTCI — це відношення різниці коефіцієнтів відбиття в 10-тому і 9-тому каналах до різниці коефіцієнтів відбиття в 9-му і 8-му каналах MERIS:

$$MTCI = \frac{R_{10} - R_9}{R_9 - R_8}, \quad (3)$$

де R_i ($i = 8, 9, 10$) — коефіцієнт відбиття в i -тому каналі стандартного набору каналів сенсора MERIS.

В праці англійських дослідників [6] показано, що у випадку високих значень вмісту хлорофілу в рослинах, MTCI більш чутливий до його зміни, ніж REP, тобто при високих значеннях вмісту хлорофілу малим змінам значень REP відповідають значні зміни значень MTCI.

Обчислення NDVI. Розпізнавання стану рослинного покриву можна здійснювати за допомогою нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI (the Normalized Difference Vegetation Index), який визначається за формулою:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_r}{R_r + R_{NIR}}, \quad (4)$$

де R_r , R_{NIR} — коефіцієнти відбиття в червоному та БІЧ — каналах сенсора відповідно.

Для даних ENVISAT MERIS еквівалентом індекса NDVI є індекс BOAVI [8], який обчислюється за формулою

$$BOAVI = \frac{R_{14} - R_8}{R_{14} + R_8}. \quad (5)$$

Обчислюючи попіксельно значення BOAVI за даними зображення MERIS можна сформувати нове зображення, яке є аналогом NDVI-зображення для цих даних (рис. 2а). Одержані NDVI, REP та MTCI-зображення дозволяють сформувати синтезоване зображення, яке використовувалося для класифікації наземного покриву (рис. 2д).

Результати класифікації земного покриву

Класифікація двох типів зображень, побудованих за даними відеоспектрометра MERIS з просторовою розрізненістю 1 200 м (див. попередній розділ) здійснювалась з допомогою методу MMDM. Для порівняння використано результати класифікації космознімки тієї ж території, одержаного з КА Landsat-7 з просторовою розрізненістю 30 м. Класифікація земного покриву за даними Landsat-7 здійснювалась методом масимальної вірогідності із навчанням. Об'єкти для навчання включали ті відібрані класи вегетаційного покриву, які були вибрані на основі інвентаризаційного опису лісів на досліджуваній території. Крім цього, об'єктами для навчання були такі елементи ландшафту, як водна поверхня, населені пункти, пасовища та оброблювані землі, сніговий покрив.

В табл. 1 наведено діапазони змін вегетаційних індексів, обчислених за формулами (1)–(3) для виділених класів земного покриву, які одержано при проведенні класифікації методом MMDM. Слід відзначити, що для водної поверхні та снігу величини REP та MTCI мають аномальні значення (як низькі, так і високі), які знаходяться за межами діапазону значень для всіх решти класів зеленого покриву.

Результати класифікації свідчать, що в деяких випадках існують суттєві розбіжності між результатами, одержаними при обробці двох типів зображень, утворених за даними ENVISAT MERIS.

Класифікація зображення, побудованого на основі синтезу REP, MTCI та NDVI зображень, показала високу чутливість до рослинних об'єктів, які містять хлорофіл. Хвойні ліси в межах високогір'я, де чергу-

Таблиця 1

Значення вегетаційних індексів для різних класів земного покриву за даними ENVISAT MERIS

Клас земного покриву	NDVI (BOAVI)		REP (f i)		MTCI	
	min	max	min	max	min	max
1	0.496	0.657	721.4	724.6	1.74	2.37
2	0.446	0.524	717.6	722.9	1.37	1.87
3	0.408	0.535	718.9	721.7	1.39	1.89
4	0.466	0.623	721.1	724.9	1.79	2.57
5	0.148	0.361	712.1	717.0	1.13	1.14
6	-0.163	0.034	<700	>730	-2.57	0.49
7	-0.087	-0.057	<700	>730	-20.87	-0.052

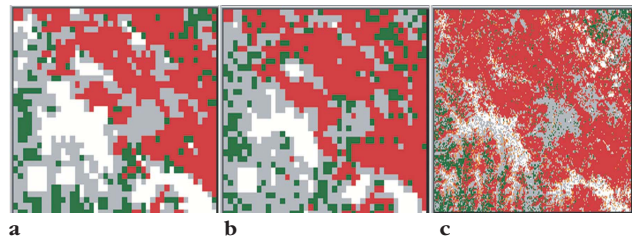
1 — б'яіе і³ еñе; 2 — еēñуі³ еñе; 3 — іāñіаеùā òā íāēñіāеé ііēēēā; 4 — іçèіā іōāіēō; 5 — іāіēāіēē āōōіō; 6 — āīāīā ііāāōō іу; 7 — ñіāіāā ііāāōō іу

ються покриті та не покриті лісом ділянки, виділяються точніше за комбінованим зображенням, ніж за зображенням, побудованим з використанням величин відбиття у 15-ти каналах відеоспектрометра MERIS. В той же час не зовсім точно класифікуються сільськогосподарські угіддя. Враховуючи час знімання (16 квітня), можна допустити, що в межах сільськогосподарських полів зображення, сформоване на основі вегетаційних індексів, вказує на стан посівів озимих культур та ступінь їх відновлення у весняний період.

На рис. 3 і в табл. 2 наведено результати класифікації 2-х типів зображень за даними MERIS (район г. Говерла). Ця ділянка знаходиться в правому нижньому куті території досліджень, зображеної на рис. 2.

Як свідчать зіставлення результатів класифікації для тест-ділянки площею 2 105 км² з використанням різних типів зображень, наведених в таблиці 2, класифікація за даними 3-х вегетаційних індексів (NDVI, REP, MTCI) дає більш точні результати при визначенні хвойних лісів (рис. 3b) в порівнянні із класифікацією з використанням відбиття в 15-ти каналах MERIS (рис. 3a). Середня відносна похибка класифікації менша на 5%.

Потенціал використання REP- та MTCI-зображень не вичерпується лише можливістю більш точної класифікації наземного покриву гірських районів, через незалежність від топографічних ефектів. Оскільки ці індекси чутливі до вмісту хлорофілу в листі та

**Рис 3.** Фрагменти класифікованих знімків:

а) класифікація з використанням відбиття у 15-ти каналах відеоспектрометра MERIS; б) класифікація зображення, сформованого із NDVI, REP та MTCI-зображень за даними MERIS; в) фрагмент класифікованого знімка Landsat-7, який використовується як довідкові дані: (червоний колір — хвойні ліси; зелений — листяні ліси; сірий — нелісові землі, пасовища, сільгоспугіддя, вирубки; білий — сніг, хмари).

голках рослинності, це дозволяє оцінювати стан окремих видів лісової рослинності та виявити ділянки із несприятливими умовами зростання.

Висновки

Класифікація наземного покриву гірських районів Карпат методом мінімальної відстані до середнього з використанням REP-, MTCI- та NDVI-зображень за даними ENVISAT MERIS дає кращі результати, ніж з використанням радіації чи відбиття в 15-ти каналах. Застосування вегетаційних індексів не вимагає проведення топографічної корекції і тому перспективне при дослідженні стану рослинного покриву гірських районів.

Результати проведених досліджень показують добру кореляцію між REP та MTCI і високий потенціал для моніторингу екосистем в гірських районах з використанням комбінації обох індексів.

Автори висловлюють подяку проф. доктору Барбарі Кох та доктору Клаусу-Петеру Гроссу з Фрайбурзького університету за підтримку проекту досліджень. Автори вдячні ESA за надання знімка КА ENVISAT MERIS.

Література

1. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сахацький О. І. та ін. Дослідження стану лісів з використанням позиції червоного краю

Таблиця 2

Зіставлення результатів класифікації з використанням різних типів зображень за даними MERIS та Landsat 7 для площі 2 105 км².

Земний покрив	Розподіл площ (%) класифікації за зображеннями			Відносна похибка класифікації для (1) %	Відносна похибка класифікації для (2) %
	(1) MERIS відбиття 15 канал	(2) MERIS (NDVI, REP, MTCI)	(3) Landsat-7		
1	36.3	40.4	55.8	34.9	27.5
2	13.1	15.3	8.8	32.8	42.5
3	32.1	34.4	28.6	10.9	16.7
4	18.5	9.9	6.2	66.5	37.4
5	—	—	0.6	—	—
Загальна площа	100	100	100	Середнє: 36.3	Середнє: 31.0

1 — хвойні ліси; 2 — листяні ліси; 3 — пасовища та нелісовий покрив; 4 — сніг; 5 — хмари

- за даними відеоспектрометра MERIS//Тез. докл. 5-ой Украинской конф. по космическим исследованиям. (НЦУИКС, Евпатория, 4–11 сент. 2005 г.) — Киев: Изд-во Ин-та космич. исследований НАНУ-НКАУ.— 2005. — С. 137.
2. Шпортюк З. М., Лялько В. І., П'янило Я. Д. та ін. Спектральні методи обробки та аналізу інформації в дистанційному зондуванні рослинності. — Львів, 1993. — 54 с. — (Препр. / АН України. Науково-учбовий центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача, № 4–93).
3. Baret F., Jacquemoud S., Guyot G. et al. Modeled analysis of the biophysical nature of spectral shift and comparison with information content of broad bands// Remote Sens. Environ.-1992.-41, №2.-P.133-142.
4. Clevers, I.G.P.W., Bartholomeus H.M., Mucher C.A. et al. Land covers classification with the Medium Resolution Imaging (MERIS). In: New Strategies for European Remote Sens.- Rotterdam: Oluic (ed.) Millpress.-2005.-P.687-694.
5. Collins W., Chang S.H., Raines G. et. al. Airborne Biogeophysical Mapping of Hidden Mineral Deposits// Economic.Geol.-1983.-78, №4.-P.737-749.
6. Dash J., Curran P.J. The MERIS terrestrial chlorophyll index// Intern. Journ. Remote Sens.-2004.-25.-P.5403-5413.
7. Dawson J., Curran P.J. A new Technique for Interpolating the Reflectance Red Edge Position// Intern. Journ. Remote Sens.-1998.-19.-P.2133-2139.
8. MERIS USER GUIDE. <http://envisat.esa.int/dataproducts/meris/CNTR2.htm>//eph.meris.prodalg.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗЕМНОГО ПОКРОВА КАРПАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЗЕМНОГО ХЛОРОФИЛЬНОГО ИНДЕКСА И ПОЗИЦИИ КРАСНОГО КРАЯ ПО ДАННЫМ ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРА MERIS

В. И. Лялько, З. М. Шпортюк, А. И. Сахацкий, О. М. Сибирцева

Резюме. Приведены результаты предварительных исследований возможности использования данных видеоспектрометра MERIS для классификации земного покрова Украинских Карпат. При исследованиях использованы данные космической съемки спутника ENVISAT MERIS от 16.04.2004 года с грубым пространственным разрешением 1200 м, на основе которых для района исследований вычислено попиксельно величины индексов REP, MTCI и NDVI. Метод минимального расстояния от среднего применен к множеству данных этих индексов для классификации земного покрова. Результаты исследований показали, что изображение ENVISAT MERIS с грубой пространственным разрешением обеспечивает средний результат классификации: хорошо выделяются хвойные леса и покрытые снегом вершины. Классификация с использованием множеств индексов REP и MTCI дает лучшие результаты, чем классификация на основе значений отражения. Результаты исследований показали хорошую корреляцию между REP и MTCI и высокий потенциал для мониторинга экосистем в горных районах с использованием комбинации обоих индексов.

Ключевые слова: видеоспектрометр MERIS, индексы красного края, классификация земного покрытия

LAND COVER CLASSIFICATION OF CARPATHIANS USING TERRESTRIAL CHLOROPHYLL INDEX AND RED EDGE POSITION FROM SPECTROMETER MERIS DATA

V. I. Lyalko, Z. M. Shportjuk, O. I. Sakhatsky, O. M. Sibirtseva

Abstract. The results of preliminary study of the use of the spectrometer MERIS for land cover classification of the Ukrainian Carpathians are given. In the study the data from ENVISAT MERIS (16.04.2004) with coarse spatial resolution (1200 m) have been used, on the basis of the satellite data the pixel values of indices REP, MTCI and NDVI have been calculated for the study area. Minimum distance method has been applied for land cover classification using created data set on the base of these indices. The results showed that the ENVISAT MERIS image with coarse spatial resolution provides an average classification result: coniferous forests and snow-capped peaks have been well allocated. Land cover classification using index sets REP and MTCI gives better results than the classification based on the values of reflection. The results showed a good correlation between REP and MTCI and a high potential for ecosystem monitoring in mountainous areas using a combination of both indices.

Keywords: spectrometer MERIS, red edge indices, land cover classification

УДК 528.8.04

ОПТИМИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОГО СПУТНИКОВОГО ГЕОМОНИТОРИНГА МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ КОЛМОГОРОВА НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕРЕНИЙ АТМОСФЕРНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ CO₂

Л. Ф. Даргейко*, В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, Ю. В. Костюченко, И. Г. Артеменко

ІУ "Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины", Киев, Украина

Резюме. Обосновывается использование метода пространственной интерпретации Колмогорова для оптимизации данных глобального спутникового геомониторинга для решения задач охраны окружающей среды, природопользования, контроля за климатическими и экологическими изменениями. Использовалась карта глобального распределения концентрации CO₂ в атмосфере, полученная сенсором SCIAMACHY спутника Envisat-1.

Ключевые слова: спутниковые наблюдения, регуляризация данных, атмосферная концентрация двуокиси углерода, пространственная интерполяция Колмогорова

© Л. Ф. Даргейко, В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, Ю. В. Костюченко, И. Г. Артеменко. 2014

Введение

Основными проблемами, присущими системам наблюдения, являются нерегулярность сетки, по которой производятся измерения и их относительно низкая разрешающая способность. Большинство моделей, применяемых для описания процессов на земной поверхности, требуют входных данных на регулярной геореферированной сетке. Однако, в случае с наземными наблюдениями это не всегда возможно. Проблема разрешающей способности в большей мере присуща дистанционным системам сбора информации. Модели, применяемые для анализа явлений и процессов на региональном или более того — локальном уровне, требуют входных данных с соответствующей плотностью, которую не всегда обеспечивают существующие системы наблюдения. В такой ситуации, естественно, происходит постоянное совершенствование систем наблюдения, разработка новых методик сбора данных, развитие систем экспериментальных калибровочно-заверочных полигонов.

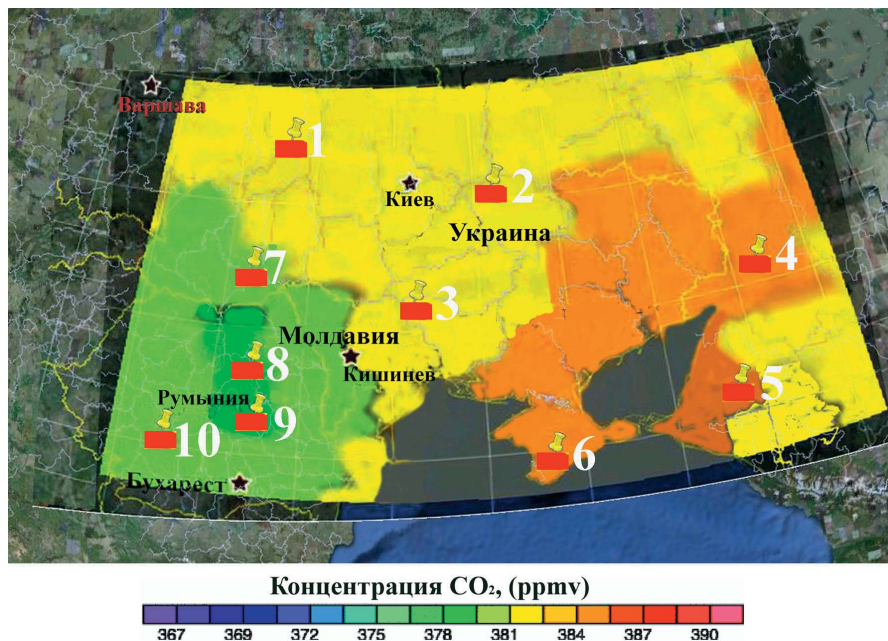
В то же время в последнее десятилетие активно разрабатываются методики предварительной обработки данных наблюдений, которые позволили бы получать массивы данных в том виде, который оптимально отвечает потребностям моделирования. Как правило, эти методики базируются на использовании различного рода математических методов аппроксимации, интерполяции, экстраполяции и т. п. Совокупность таких методов, направленных на получение регуляризованных, равномерно с определенным шагом распределенных в заданной системе координат данных получила в последние годы название даунскейлинга (down-

scaling) или “уменьшения размерности”. Использование методов даунскейлинга позволяет получить из существующих неравномерно распределенных данных с низкой разрешающей способностью регуляризованные массивы данных, которые соответствуют заданным требованиям моделирования и позволяют минимизировать ошибки, присущие системам наблюдения.

Особое значение методики даунскейлинга обретают в контексте анализа климатических изменений. В настоящее время наиболее актуальной проблемой в этой области является разработка моделей региональных изменений климатических показателей, что требует получения массивов входных данных, которые сейчас пока еще не могут быть предоставлены существующими системами сбора информации. В первую очередь это касается данных о балансе атмосферных концентраций парниковых газов, прежде всего — углекислого газа [2]. Существующие системы глобального спутникового измерения атмосферных концентраций парниковых газов обеспечивают точность на уровне глобальных оценок около одного градуса дуги по поверхности Земли, в то время как региональные модели требуют точности от 30' × 30' до 20" × 20". В такой ситуации разработка корректных проблемно ориентированных методов предварительной обработки данных, в частности методов даунскейлинга, становится чрезвычайно актуальной задачей.

Известны различные методы детализации метрологических полей: статистические, физические, динамические, динамико-статистические [1]. Все эти методы обладают своими достоинствами и недостатками. Например, методы интерполяции полиномом (рост степени полинома с ростом числа точек) приводит к значительным скачкам приближающей функции, что может расходиться с поведением мо-

* e-mail: casre@casre.kiev.ua



Распределение атмосферного CO₂ над территорией Украины и прилегающих регионах, созданной ИУР на основе информации сенсора SCIAMACHY спутника Envisat-1 (на фоне изображения земной поверхности по данным Google Планета Земля). Числами 1–10 обозначены исследуемые участки

делируемой функции. Интерполирование сплайнами имеет достаточно громоздкий вид результирующей функции, кроме того, объем сплайн коэффициентов иногда превышает объем исходных данных и т. д. [6]. Естественно, что выбор того или иного метода должен определяться исходя из поставленной задачи.

С нашей точки зрения для задач детализации данных содержания концентраций парниковых газов в атмосфере, полученных на основе глобального спутникового мониторинга, наиболее приемлемым является метод оптимальной пространственной интерполяции А. Н. Колмогорова. Этот метод относится к разряду статистических, которые основаны на корреляционных связях внутри исследуемых полей.

Цель данной работы заключается в обосновании методики оптимизации данных глобального спутникового геомониторинга методом пространственной интерполяции Колмогорова на примере детализации спутниковых данных атмосферных концентраций углекислого газа.

Исходные данные

В Научном центре аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины (ЦАКИЗ) была исследована информативность различных данных спутникового наблюдения Земли для определения содержания CO₂ в атмосфере [5]. В результате было установлено, что для решения рассматриваемой задачи наиболее перспективной является регистрирующая система SCIAMACHY установленная на спутнике Envisat-1 и используемая для измерения глобального распределения парниковых газов в ат-

мосфере. Принцип действия этой аппаратуры основан на регистрации излучения в отдельных диапазонах спектра, в частности, области линий поглощения CO₂. Детальное описание прибора и принципов его функционирования содержится в работе [7].

С помощью указанной аппаратуры Институтом физики окружающей среды Бременского университета в Германии (Institute of Environmental Physics — IUP) впервые были получены карты глобального распределения CO₂ в атмосфере [8]. Необходимо отметить, что именно IUP был главным исполнителем проекта SCIAMACHY, и имел преимущественное право обработки данных глобальной концентрации парниковых газов в атмосфере [9]. Результаты этих исследований в виде фрагмента карты атмосферного распределения CO₂ над территорией Украины и прилегающими регионами площадью 1 521 × 886 км² (рис.), использовались в данной работе в качестве исходной информации.

Метод

Для оптимизации данных глобального спутникового геомониторинга предлагается использовать метод пространственной интерполяции Колмогорова, который состоит в том, что точка (участок), в которой определяется значение интерполируемой функции $f(x)$, взаимосвязана с базовыми точками f_i ($i=1, \dots, n$) статистически. $f_1 = f_1(x_1), f_2 = f_2(x_2), f_3 = f_3(x_3), \dots, f_n = f_n(x_n)$, n — количество точек, которые являются базовыми. При этом коэффициенты интерполяции ($\lambda_1(x), \lambda_2(x), \dots, \lambda_n(x)$), в соответствии с принципом Колмогорова, в первом приближении про-

порциональны коэффициентам корреляции между точкой интерполяции и базовыми точками (участками). Таким образом, коэффициент взаимной корреляции учитывает влияние на значение функции в точке интерполяции значений всех связанных с ней базовых точек. Для каждой исследуемой точки вычисляются коэффициенты интерполяции и формируется линейная комбинация известных базовых значений функции f_i в известных точках с соответствующими коэффициентами интерполяции для каждой базовой точки [4]:

$$f^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(x) f_i \quad (1)$$

Ниже рассматривается последовательность поиска значений коэффициентов интерполяции λ_i для уравнения (1), которые обеспечат минимум математического ожидания квадрата погрешности решения уравнения (1) относительно истинного ее значения, то есть минимум величины [3]:

$$\varepsilon^2 = E\{(f^*(x) - f(x))^2\} \quad (2)$$

в соответствии, с принципом Колмогорова.

Подставим (1) в (2) и выполним алгебраические преобразования

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= E\{f^2(x)\} - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i E\{f(x_i) f(x)\} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \lambda_i \lambda_k E\{f(x_i) f(x_k)\} = \\ &= \sigma_f^2 + \bar{f}^2 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i B(x - x_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \lambda_i \lambda_k B(x_k - x_i) \end{aligned}$$

где σ_f^2 — дисперсия и $\bar{f}^2$ — математическое ожидание неизвестного значения интерполируемой функции.

Для каждого фиксированной точки x , для которой строится оценка функции $f^*(x)$, можно представить значения автокорреляционной функции (АКФ) $B(x - x_i)$, $i = 1, \dots, n$ неизвестного значения f в виде линейной комбинации значений АКФ для известных точек, $B(x_k - x_i)$, $k = 1, \dots, n$:

$$B(x - x_i) = \sum_{k=1}^n \lambda_k(x) B(x_k - x_i) \quad (4)$$

где $\lambda_k(x)$, $k = 1, \dots, n$ — набор коэффициентов, который (для каждого отдельно) может быть определен из решения системы уравнений (4).

Система уравнений (4) может быть представлена в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} B(x - x_1) \\ B(x - x_2) \\ \vdots \\ B(x - x_n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1(x) \\ \lambda_2(x) \\ \vdots \\ \lambda_n(x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & B(x_2 - x_1) & \cdots & B(x_n - x_1) \\ B(x_1 - x_2) & 1 & \cdots & B(x_n - x_2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B(x_1 - x_n) & B(x_2 - x_n) & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

В системе уравнений (4) коэффициентами являются значения корреляционной функции как функции расстояний между точками. $B(x_k - x_i)$ — матри-

ца значений корреляционной функции между каждой парой точек, в которых известно значение функции (между каждой парой базовых точек), а $B(x - x_i)$ — вектор значений корреляционной функции для расстояний от точки, для которой оценивается значение функции до каждой из базовых точек.

После несложных преобразований уравнение (3) принимает вид

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \sigma_f^2 + \bar{f}^2 - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \lambda_i(x) \lambda_k(x) B(x_k - x_i) + \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (\lambda_i - \lambda_i(x)) (\lambda_k - \lambda_k(x)) B(x_k - x_i) \end{aligned} \quad (5)$$

Видно, что минимум ε^2 будет соответствовать такому выбору коэффициентов $\lambda_1(x), \lambda_2(x), \dots, \lambda_n(x)$, который обращает последнее слагаемое уравнения (5) в ноль, то есть $\lambda_i = \lambda_i(x)$, где $\lambda_i(x)$ определяются (для каждого узла) из решения системы уравнений (4). Система уравнений (4) позволяет определить все необходимые коэффициенты интерполяции, минимизирующие ошибку расчета значения $f^*(x)$.

Таким образом, после определения коэффициентов интерполяции искомые значения концентрации CO_2 в атмосфере исследуемых участков территории вычисляются по формуле (1).

Результаты исследований

Для атмосферы над территорией Украины и прилегающих регионов (рис.) нами были выполнены расчеты ежемесячного распределения углекислого газа в период с января 2003 по декабрь 2005 года включительно. Полученные значения усреднялись по временным и пространственным параметрам. В исследованиях использовались максимальные значения CO_2 , приходящиеся на июль месяц. Далее на полученной карте распределения CO_2 в атмосфере исследуемой территории было выделено 100 базовых точек-участков с соответствующими координатами и известными значениями концентрации CO_2 в атмосфере. Для апробации метода интерполяции Колмогорова из выделенных участков было выбрано 10 (табл.), которые использовались для дальнейшего эксперимента. Значения содержания CO_2 на оставшихся 90 базовых участках использовались как эталонные для вычисления и интерполяции содержания CO_2 на 10 исследуемых участках. При этом ранее полученные значения концентрации CO_2 в атмосфере выбранных 10 участков играли роль “заверочных” для оценки достоверности результатов интерполяции.

В системе уравнений оптимальной интерполяции (4) используются коэффициенты корреляции между участком, куда выполняется интерполяция, и всеми эталонными участками, а также коэффициенты корреляции для соответствующих расстояний между эталонными участками. В соответствии с этим, в начале вычислялись значения коэффи-

Координаты и значения концентрации CO_2 в атмосфере участков, выбранных для апробации метода интерполяции Колмогорова

Номер участка	φ	λ	$N_{\text{баз}}$	$N_{\text{выч}}$
1	51°16'	27°21'	382	378
2	50°09'	33°05'	381	383
3	48°00'	30°33'	382	381
4	48°06'	40°50'	385	380
5	45°38'	39°40'	384	383
6	44°50'	34°10'	385	388
7	48°45'	25°49'	380	381
8	46°55'	25°49'	379	379
9	45°53'	25°54'	378	376
10	45°31'	23°15'	381	378

циентов пространственной корреляции поля CO_2 между каждой парой эталонных участков, а затем попарно определялись значения коэффициентов пространственной корреляции между каждым из 10 интерполируемых участков со всеми 90 эталонными участками.

Исходя из особенностей атмосферных процессов, значения корреляционной функции оценивались не числом, а некоторой кривой, представляющей собой зависимость коэффициента корреляции от расстояния. В этом случае, для определения коэффициента корреляции между двумя участками, измерялось расстояние между ними и на графике находилось значение корреляционной функции, соответствующее этому расстоянию.

Для моделирования содержания углекислого газа в атмосфере на основе изложенной теории была разработана специальная программа, которая использовалась в данной работе. В качестве базовых участков было выделено четыре различных набора по 100 участков, при этом в каждом наборе для интерполяции по методу Колмогорова сохранялись одни и те же 10 исследуемых участков. Результаты вычислений содержания CO_2 в атмосфере для выбранных 10 участков по всем четырем вариантам отличаются от “заверочных” значений не более чем на 10%, что вполне приемлемо для опе-

ративного мониторинга содержания парниковых газов в атмосфере. Результат вычислений наиболее близкий к “заверочным” значениям приведен в таблице.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили возможность использования метода пространственной интерполяции Колмогорова для оптимизации данных глобального спутникового геомониторинга.

Литература

1. Зарипов Р. Б. Обзор современных методов повышения детализации метеорологических полей / Р. Б. Зарипов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. — 2010. — №1. — С. 1–11.
2. Изменения земных систем в Восточной Европе / Отв. ред. В. И. Лялько. — Киев, 2010. — 582 с.
3. Колмогоров А. Н. Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей / А. Н. Колмогоров // Изв. АН СССР. Серия матем. — 1941. — №5. — С. 3–11.
4. Колмогоров А. Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // Доклады академии наук СССР. — 1941. — Т. 30. — №4. — С. 299–305.
5. Лялько В. І. Дослідження впливу змін CO_2 та CH_4 в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / В. І. Лялько, І. Г. Артеменко, Г. М. Жолобак [та ін.] // Геолог. журнал. — 2007. — №4, — С. 7–16.
6. Масюков В. В. Методика объективного сравнения методов интерполяции / В. В. Масюков [и др.] // Геофизический вестник. — 2005. — № 1. — С. 17–21.
7. Buchwitz M. R. de Beek, S. Nol et al. Atmospheric carbon gases retrieved from SCIAMACHY by WFM-DOAS: version 0.5 CO and CH_4 and impact of calibration improvements on CO_2 retrieval: ACP, 2006.

ОПТИМІЗАЦІЯ ДАНИХ ГЛОБАЛЬНОГО СУПУТНИКОВОГО ГЕОМОНІТОРИНГА МЕТОДОМ ПРОСТОРОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ КОЛМОГОРОВА НА ПРИКЛАДІ ВІМІРІВ АТМОСФЕРНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ CO_2

Л. Ф. Даргейко, В. І. Лялько, О. Д. Федоровский, Ю. В. Костюченко, І. Г. Артеменко

Резюме. Обґрунтовується використання методу просторової інтерпретації Колмогорова для оптимізації даних глобального супутникового геомоніторингу для розв'язування задач охорони навколишнього середовища, природокористування, контролю кліматичних і екологічних змін. Використовувалась карта глобального розподілу концентрації CO_2 в атмосфері, отримана сенсором SCIAMACHY супутника Envisat-1.

Ключові слова: супутникові спостереження, регуляризація даних, атмосферна концентрація двоокису вуглецю, просторова інтерполяція Колмогорова

GLOBAL SATELLITE MONITORING USING METHOD OF SPATIAL INTERPOLATION OF KOLMOGOROV FOR STUDY OF ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC CONCENTRATION OF CO_2

L. F. Dargejko, V. I. Lyalko, O. D. Fedorovski, Yu. V. Kostuchenko, I. G. Artemenko

Abstract. For optimization of data for global satellite environmental and climate monitoring the method of spatial interpolation of Kolmogorov is validated in this paper. As the source data the global map of carbon dioxide atmospheric concentration obtained from SCIAMACHY sensor of Envisat-1 satellite has been utilized.

Keywords: satellite observations, data regularization, carbon dioxide atmospheric concentration, Kolmogorov spatial interpolation

УДК 528.8.04:551.4

КОСМІЧНА УКРАЇНА ДОПОМАГАЄ ЯДЕРНІЙ ФУКУСИМІ[☆]

О. І. Сахацький*, С. А. Станкевич

ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна

Резюме. Наведено інформацію про співпрацю українських та японських вчених з Наукового Центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України та Токійського університету для вивчення проблем аварії на АЕС Фукусіма-1 на основі супутникової інформації. Підсумком проведених семінарів, ділових зустрічей та дискусій стало рішення японської сторони використати досвід ЦАКДЗ ІГН НАНУ та заключити договір на проведення спільних досліджень. Наведено основні результати першого етапу робіт стосовно класифікації рослинного покриву в районі Фукусіма-1 та картування ризику вторинного викиду адсорбованих рослинністю радіонуклідів внаслідок пожеж на забруднених територіях.

Ключові слова: Фукусіма-1, українсько-японське співробітництво, дистанційні дослідження Землі, класифікація земного покриття за супутниковими даними, ризик вторинного радіонуклідного забруднення від пожеж

© О. І. Сахацький, С. А. Станкевич. 2014

Відомо, що Японія в березні 2011 року пережила жахливу аварію на атомній електростанції “Фукусіма-1”. Радіаційного зараження зазнали населення, земля, вода, повітря, рослинність країни. Влада Японії зробила запит в МАГАТЕ про підтримку у сфері екологічного моніторингу та дослідження впливу радіації на флору, фауну та здоров'я людей.

Україна в 1986 році пережила подібну трагедію. Ось вже 27 років як вчені і спеціалісти різного профілю вивчають наслідки цієї катастрофи на Чорнобильській АЕС. Оскільки рівень радіації в зоні відчуження лишається достатньо високим, найбільш придатними методами ведення моніторингу є дистанційні методи, в яких використовуються матеріали космічної зйомки. Саме такі методи успішно використовують вчені Наукового Центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України (ЦАКДЗ) на чолі з академіком НАН України В. І. Ляльком [1–4, 6].

Розроблені в ЦАКДЗ ІГН НАНУ технології космічного моніторингу та отримані результати привернули увагу японських спеціалістів, які вивчають сьогодні проблеми, пов'язані з аварією на “Фукусіма-1”. З ініціативи японської сторони було проведено два семінари (Токіо, 27 лютого–6 березня 2013 р. та Київ, 15 і 18 липня 2013 р.), на яких вчені Токійського Університету поділилися своїми проблемами щодо радіаційного забруднення довкілля, а українські учені запропонували свої варіанти вирішення цих проблем (Рис. 1–3).

Наступна зустріч-семінар пройшла в кінці листопада 2013 р. на базі Токійського університету. З української сторони в ній взяли участь співробітники Центру д. г.-м. н. О. І. Сахацький та д. т. н. С. А. Станкевич, з японської сторони — Інноваційного

центра наносупутникових технологій (INTEC) на чолі з професором кафедри аеронавтики і астронавтики Токійського Університету Шинічі Наказука і професором Акіра Івасакі з Наукового центру передової науки і технології (RCAT) при Токійському університеті [5].

Інноваційний центр наносупутникових технологій (INTEC) Токійського університету реалізує програму розробки серії мікросупутників Hodo-yoshi. Ця програма фінансується Урядом Японії і спрямована на розвиток інноваційних мікросупутників і їх запусків для створення ефективних способів моніторингу земного покриття, у тому числі в межах зони відчуження Фукусіма-1. Перший запуск мікросупутника серії Hodo-yoshi планується на початок 2014 року. В Науковому центрі передової науки та технології (RCAT) Університету Токіо (лабораторія проф. А. Івасакі) проводиться накопичення та аналіз даних космічних спостережень в рамках програми моніторингу зони відчуження Фукусіма-1 та Чорнобильської АЕС на основі супутникової інформації, включаючи дані мікросупутників Hodo-yoshi. Програма фінансується Міністерством освіти, культури, спорту, науки і технології (МEXT) Японії.

Підсумком проведених семінарів, ділових зустрічей та дискусій стало рішення японської сторони використати досвід ЦАКДЗ та заключити договір на проведення спільних досліджень. Між ЦАКДЗ та Токійським університетом було підписано контракт на виконання робіт з класифікації рослинних покривів в межах зони відчуження Фукусіма-1 на основі знімків супутникової системи Landsat. Згідно цього Контракту заплановано проводити роботи на забруднених територіях, використовуючи дані від різних супутників, що буде сприяти подоланню наслідків аварії на атомних станціях Фукусіма-1 та Чорнобильській АЕС.

Основним завданням першого етапу спільної роботи є вивчення можливостей обробки наявних ба-

[☆] Электронный Бюллетень Новостей (ЭБН) // Космический дайджест, №10 (62), 8 марта 2014 г. С. 8–11.

* e-mail: sakhatzky@casre.kiev.ua



Рис. 1. Учасники спільних завіркових польових досліджень в районі АЕС Фукусіма-1 (березень, 2013 р.): зліва направо: д-р С. А. Станкевич (ЦАКДЗ), д-р О. І. Сахацький (ЦАКДЗ), заступник голови Державного агентства України з управління зоною відчуження Д. Г. Бобро, проф. А. Івасакі (RCAST, Токійський університет), проф. С. Наказука (INSTECS, Токійський університет), старший експерт С. Йошімото (INSTECS, Токійський університет)

гатоспектральних космічних знімків і даних підсупутникових спостережень для екологічного моніторингу територій відчуження Фукусіма/Чорнобиль, головним чином, на основі спектральних характеристик рослинності в різних спектральних діапазонах. Тому головна мета досліджень на даному етапі робіт полягає в поліпшенні використання супутникових даних для моніторингу земного покриття, особливо рослинності, в районах аварії на Фукусіма-1 і Чорнобильській АЕС, де залишається високий рівень радіонуклідного забруднення території. Дослідницькі завдання включають в себе: попередню обробку супутникових даних, класифікацію рослин-

ного покриття на основі аналізу супутникових та наземних даних, оцінку пожежного ризику, аналіз екологічного стану рослинності в зоні радіонуклідного забруднення, використовуючи різні вегетаційні індекси, структурну інтерпретацію супутникових зображень досліджуваного району з використанням лінеamentного аналізу для визначення областей інтенсивної міграції радіонуклідів в підземні горизонти.

На рис. 2 наведено відкласифікований знімок Landsat-5 (05.04.2011 р.) району аварії Фукусіма-1, що виконано фахівцями ЦАКДЗ в рамках зазначеного контракту.

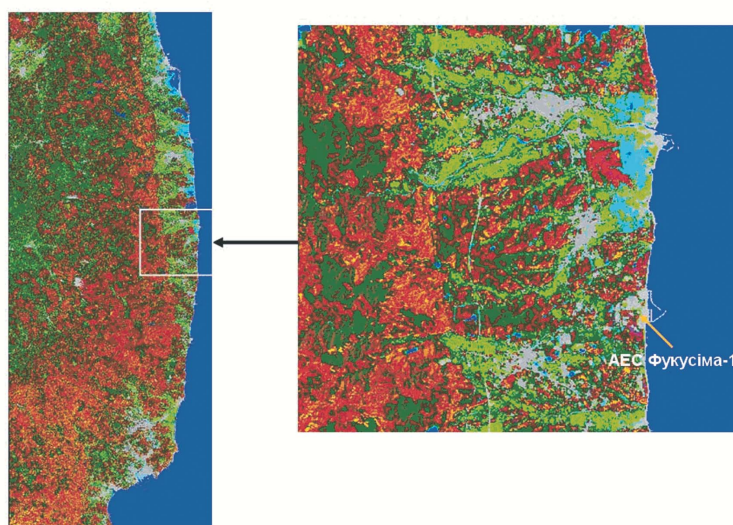


Рис. 2. Результати класифікації рослинного покриття на основі знімка Landsat-5 (5 квітня 2011 р.) в районі АЕС Фукусіма-1 (одержана співробітниками ЦАКДЗ)

Умовні позначення: сосна червона — червоний колір, сосна чорна — фіолетовий, кедр — помаранчевий, кипарис — жовтий, інші листяні дерева — темно-зелений, дуб — коричневий, модрина — сіна, луки — зеленувато-жовтий, водно-болотні угіддя — блакитний, населені пункти — сірий, техногенні об'єкти — світло-сірий

Фахівцями ЦАКДЗ запропоновано застосовувати супутниковий моніторинг зон відчуження Чорнобильської АЕС та АЕС Фукусіма-1 для картування ризику вторинного викиду адсорбованих рослинністю радіонуклідів внаслідок пожеж на забруднених територіях. Існуючі кількісні моделі оцінки імовірності виникнення та розповсюд-

ження пожеж адаптовано для базових типів біомів зон відчуження, вже розроблено необхідні алгоритми і програмне забезпечення кількісного картування ризиків. Попередні результати кількісного оцінювання ризику всередині зони відчуження Фукусіма-1 за багатоспектральними зображеннями Landsat проілюстровано на рис. 3.

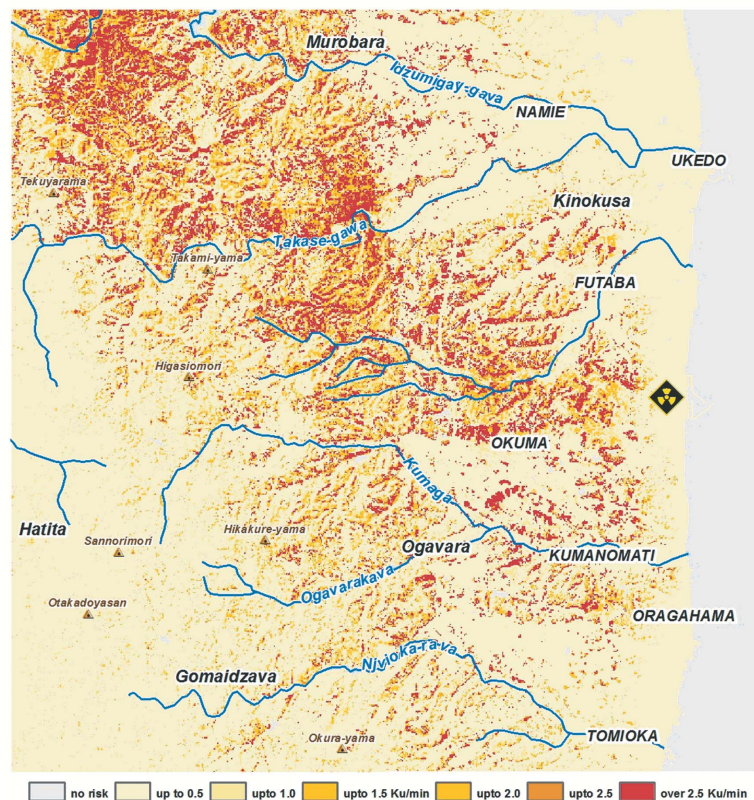


Рис. 3. Карта ризику вторинної емісії радіонуклідів внаслідок природної пожежі в районі АЕС Фукусіма-1 (одержана співробітниками ЦАКДЗ)

Література

- Використання багатозональних космічних знімків з метою вивчення рослинності Зони Відчуження ЧАЕС / [О. І. Сахачький, В. І. Лялько, А. Я. Ходоровський, О. Т. Азімов, З. М. Шпортюк, О. М. Сибірцева, С. М. Бідна] // Нові методи в космічному землезнавстві. — К.: ЦАКДЗ ІГН НАНУ, 1999. — С. 105–113.
- Комплексирование многозональных космических снимков различного пространственного разрешения для повышения эффективности исследований лесных массивов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС и районов Сибири) / [В. И. Лялько, А. И. Сахачький, А. Я. Ходоровский, И. Я. Буянова, А. Т. Азимов] // Космична наука і технологія. — 2002. — Т. 8, № 2/3. — С. 239–246.
- “Зелений щит” проти радіонуклідів / [В. Лялько, О. Сахачький, З. Шпортюк, О. Сибірцева, А. Ходоровський, О. Азімов] // Вісник НАН України. — 2008. — № 4. — С. 23–28.
- Estimation of Heavy Metal and Radionuclide Contamination of the Soils and vegetation within the Chernobyl Danger Zone Using Remote sensing Data / [V. I. Lyalko, V. Yu. Djary, A. I. Sakhaty, A. J. Hodorovsky, L. D. Woolfson, Z. M. Shportjuk, O. N. Sibirtseva, K.-H. Marek, S. Oppitz, G. L. Gimel'farb, V. Ilieva] // Proceedings of the XVIII-th Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, Austria, vol. XXXI, part B7, Commission VII. 1996. pp. 454–459.
- Environment Monitoring of Fukushima and Chernobyl Areas using a Constellation of Micro Observation Satellites (Japan-Ukraine Cooperation Technical Demonstration Program for Supporting Aftermath Response to Accidents at Nuclear Power Station) / [S. Yoshimoto, S. Nakasuka, A. Iwasaki, Y. Aoyanagi, A. Sakhaty, S. Stankevich, D. Bobro] // Proceedings of the 5th Nano-Satellite Symposium (November 20–22, 2013, University of Tokyo), Tokyo, Japan, 2013. p. 9.
- Remote ecological monitoring in the Chernobyl disaster area using GIS TRIAS / [V. I. Lyalko, A. I. Sakhaty, J. F. Filippov, L. D. Woolfson, A. J. Hodorovsky, K.-H. Marek, S. Oppitz] // Proc. of the Earsel Workshop “Pollution monitoring and Geographic Information Systems”, Brandys-nad-Labem, Czech Republic, 15–18 May 1995, pp. 89–97.

КОСМИЧЕСКАЯ УКРАИНА ПОМОГАЕТ ЯДЕРНОЙ ФУКУСИМЕ

А. И. Сахацкий, С. А. Станкевич

Резюме. Приведена информация о сотрудничестве украинских и японских ученых из Научного Центра аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины и Токийского университета для изучения проблем аварии на АЭС Фукусима-1 на основе спутниковой информации. Итогом проведенных семинаров, деловых встреч и дискуссий стало решение японской стороны использовать опыт ЦАКИЗ ИГН НАНУ и заключить контракт на проведение совместных исследований. Приведены основные результаты первого этапа работ по классификации растительного покрова в районе Фукусима-1 и картировании риска вторичного выброса адсорбированных растительностью радионуклидов в результате пожаров на загрязненных территориях.

Ключевые слова: Фукусима-1, украинско-японское сотрудничество, дистанционные исследования Земли, классификация земного покрова по спутниковым данным, риск вторичного радионуклидного загрязнения от пожаров

SPACE UKRAINE HELPS NUCLEAR FUKUSHIMA

O. I. Sakhaty, S. A. Stankevich

Abstract. The information on cooperation between Ukrainian and Japanese scientists from the Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth IGS NAS of Ukraine and the University of Tokyo to study the problems of the accident at Fukushima-1 area based on satellite data is given. As the results of the workshops, business meetings and discussions the decision by the Japanese side was to use the experience of CASRE IGS NASU and to conclude the contract on joint research. The basic results of the first phase of joint works relating to the classification of vegetation in the vicinity of the Fukushima -1 area, mapping of the risk of secondary emission of the adsorbed radionuclides due to vegetation fires in contaminated areas have been provided.

Keywords: Fukushima-1, Ukrainian–Japanese cooperation, remote research of the Earth, land cover classification on satellite data, the risk of secondary radioactive pollution from fires

Інформація про наукові форуми з ДЗЗ

14-ТА УКРАЇНСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ З КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Шановні колеги!

ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН ТА ДКА УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ

запрошують Вас взяти участь в роботі **14-ї Української конференції з космічних досліджень**, яка відбудеться **з 8 до 12 вересня 2014 року** на базі

ІНСТИТУТУ ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ, м. УЖГОРОД, УКРАЇНА

Програмний комітет:

1. Ю. С. Алексєєв — Державне космічне агентство України
2. О. П. Федоров — Інститут космічних досліджень (Київ, Україна)
3. М. Банашкевич — Центр космічних досліджень PAN (Варшава, Польща)
4. Л. М. Зелений — Інститут космічних досліджень РАН (Москва, Росія)
5. В. Є. Корєпанов — Львівський центр Інститута космічних досліджень (Львів, Україна)
6. В. Д. Кузнецов — Інститут земного магнетизму, іоносфери та розповсюдження радіохвиль (Троїцьк, Росія)
7. В. М. Кунцевич — Інститут космічних досліджень (Київ, Україна)
8. Л. Н. Литвиненко — Радіоастрономічний інститут (Харків, Україна)
9. В. І. Лялько — Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі (Київ, Україна)
10. О. Л. Макаров — Конструкторське бюро "Південне" (Дніпропетровськ, Україна)
11. О. К. Черемних — Інститут космічних досліджень (Київ, Україна)
12. Ю. Г. Шкуратов — Харківський астрономічний інститут (Харків, Україна)
13. Я. С. Яцків — Головна астрономічна обсерваторія (Київ, Україна)
14. В. М. Шульга — Радіоастрономічний інститут НАНУ (Харків, Україна)
15. Є. Л. Кордюм — Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАНУ (Київ, Україна)
16. Л. Ф. Чорногор — Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (Харків, Україна)

Мови Конференції: українська, російська, англійська

Плануються наступні тематичні секції:

1. Дослідження ближнього космосу (в тому числі Сонця, сонячно-земних зв'язків, магнітосфери, іоносфери та ін.)
2. Космічна біологія, медицина і науки про мікрогравітацію
3. Астрофізичні та космологічні дослідження
4. Прилади, матеріали та технології для космічних досліджень
5. Космічні апарати та системи для космічних досліджень
6. Наземне радіофізичне дослідження космосу
7. Спостереження Землі з космосу

Регламент Конференції: На Конференції будуть представлені запрошені доповіді тривалістю 40 хв., пленарні доповіді — 30 хв. та сесійні доповіді тривалістю 20 хв. Планується стендова сесія, з можливістю 5-хвилинного усного представлення результатів. Один учасник може виступити або з однією пленарною доповіддю, або з двома сесійними

Реєстрація учасників конференції буде відкрита в період з **19 травня до 23 червня 2014 року**. Більш детальну інформацію, а також інформацію про можливі зміни і формат Конференції Ви можете знайти на сайті space-conf.ikd.kiev.ua

З питань організації і проведення Конференції звертайтеся до вченого секретаря Конференції *Скороход Тетяни* за поштовою скринькою та телефонами, вказаними на сайті:
+38 044 526 15 83 і +38 063 451 82 70, ukrainianspaceconf@gmail.com.

14-Я УКРАИНСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Уважаемые коллеги!

ГОСУДАРСТВЕННОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН И ГКА УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ФИЗИКИ НАН УКРАИНЫ

приглашают Вас принять участие в работе **14-ой Украинской конференции по космическим исследованиям**, которая состоится **с 8 по 12 сентября 2014 г.** на территории

ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОННОЙ ФИЗИКИ НАН УКРАИНЫ, г. УЖГОРОД, УКРАИНА

Программный комитет:

1. Ю. С. Алексеев — Государственное космическое агентство Украины
2. О. П. Федоров — Институт космических исследований (Киев, Украина)
3. М. Банашкевич — Центр космических исследований РАН (Варшава, Польша)
4. Л. М. Зеленый — Институт космических исследований РАН (Москва, Россия)
5. В. Е. Корепанов — Львовский центр института космических исследований (Львов, Украина)
6. В. Д. Кузнецов — Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (Троицк, Россия)
7. В. М. Кунцевич — Институт космических исследований (Киев, Украина)
8. Л. Н. Литвиненко — Радиоастрономический институт (Харьков, Украина)
9. В. И. Лялько — Научный центр аэрокосмических исследований Земли (Киев, Украина)
10. А. Л. Макаров — Конструкторское бюро “Южное” (Днепропетровск, Украина)
11. О. К. Черемных — Институт космических исследований (Киев, Украина)
12. Ю. Г. Шкуратов — Харьковский астрономический институт (Харьков, Украина)
13. Я. С. Яцкив — Главная астрономическая обсерватория (Киев, Украина)
14. В. М. Шульга — Радиоастрономический институт НАНУ (Харьков, Украина)
15. Е. Л. Кордюм — Институт ботаніки ім. М. Г. Холодного НАНУ (Киев, Украина)
16. Л. Ф. Черногор — Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (Харьков, Украина)

Языки Конференции: украинский, русский, английский

Предполагаются следующие тематические секции:

1. Исследование ближнего космоса (в том числе Солнца, солнечно-земных связей, магнитосферы, ионосферы и т. д.)
2. Космическая биология, медицина, и науки про микрогравитацию
3. Астрофизические и космологические исследования
4. Приборы, материалы и технологии для космических исследований
5. Космические аппараты и системы для космических исследований
6. Наземное радиофизическое исследование космоса
7. Наблюдение Земли из космоса

Регламент Конференции: На конференции будут представлены приглашенные доклады длительностью 40 мин., пленарные доклады — 30 мин. и сессионные доклады длительностью 20 мин. Планируется стендовая сессия, с возможностью 5-минутного устного представления результатов. Один участник может выступить либо с одним пленарным докладом, либо с двумя сессионными

Регистрация участников конференции будет открыта на сайте конференции в период **с 19 мая до 23 июня 2014 года.**

Более подробную информацию, а также информацию о возможных изменениях и формат Конференции Вы можете найти на сайте space-conf.ukd.kiev.ua

По всем вопросам, связанным с проведением конференции, обращайтесь к ученому секретарю конференции *Скороход Татьяна* по телефону: +38 044 526 15 83 и +38 063 451 82 70, ukrainianspaceconf@gmail.com.

14-TH UKRAINIAN CONFERENCE ON SPACE RESEARCH

STATE SPACE AGENCY OF UKRAINE
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE
SPACE RESEARCH INSTITUTE NASU-SSAU
INSTITUTE OF ELECTRON PHYSICS NASU

Dear colleagues!

We invite you to attend the **14th Ukrainian Conference on Space Research**, which will be held **from 8 to 12 September 2014** at the

INSTITUTE OF ELECTRON PHYSICS NASU, UZHGOROD, UKRAINE.

Program committee:

1. Yu. Alekseev – State Space Agency of Ukraine
2. O. Fedorov – Space Research Institute NASU-SSAU (Kyiv, Ukraine) (Київ, Україна)
3. M. Banaszkiwicz – Centrum Badań Kosmicznych PAN (Warszawa, Poland)
4. L. Zeleniy – Space Research Institute RAS (Moscow, Russia)
5. V. Korepanov – Lviv Centre of Institute of Space Research NASU-SSAU (Lviv, Ukraine)
6. V. Kuznetsov – IZMIRAN (Moscow, Russia)
7. V. Kuntsevich – Space Research Institute NASU-SSAU (Kyiv, Ukraine)
8. L. Litvinenko – Radioastronomical institute NASU (Kharkiv, Ukraine)
9. V. Lialko – Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth NASU (Kyiv, Ukraine)
10. O. Makarov – Yuzhnoye Design Office (Dnipropetrovsk, Ukraine)
11. O. Cheremnykh – Space Research Institute NASU-SSAU (Kyiv, Ukraine)
12. Yu. Shkuratov – Kharkiv Astronomical Institute NASU (Kharkiv, Ukraine)
13. V. Shulga – Radioastronomical Institute NASU (Kharkiv, Ukraine)
14. Ya. Yatskiy – Main Astronomical Observatory NASU (Kyiv, Ukraine)
15. Ye. L. Kordium – M.G. Kholodny Institute of Botany NASU (Kyiv, Ukraine)
16. L. Chernogor – V.N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv, Ukraine)

Conference languages: Ukrainian, Russian, English

Sections were proposed on the conference:

1. Study of the Near Space (the Sun, Solar-Terrestrial Links, Magnetosphere, Ionosphere, etc.)
2. Space Biology, Medicine and Microgravity Sciences
3. Astrophysics and Cosmology
4. Instrumentation, Materials and Technologies for Space Research
5. Space Vehicles, Units and Systems
6. Groundbased Radiophysical Research
7. The Earth Observation from the Space

Conference regulations: On the conference will present invited reports — 40 min., plenary reports — 30 min., oral presentations — 20 min. Poster session is planned, with the possibility of five-minute oral presentation. One participant may speak with either one plenary report or two oral presentations

Registration of participants will be open on **May 19 to June 23, 2014.**

More information as well as information on possible changes and format of the Conference can be found on the website space-conf.ikd.kiev.ua

Contact person for detail information is science secretary of the conference Tetiana Skorokhod: +38 044 526 15 83 and +38 063 451 82 70, ukrainianspaceconf@gmail.com.

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

Дані правила складено на основі “Вимог ВАК до наукової статті, опублікованої у фаховому виданні” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а також “Положення про електронні наукові фахові видання” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Журнал є електронним науковим фаховим виданням, яке розповсюджується в мережі Інтернет у вільному доступі.

Журнал висвітлює нові дані науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати експериментальних досліджень, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо. Розглядаються переважно об’єкти України, а також інших країн, якщо вони становлять загальнонауковий інтерес.

Журнал має такі розділи:

- наукові основи дистанційного дослідження Землі;
- методи і засоби оброблення та інтерпретації аерокосмічної інформації;
- використання інформації дистанційного дослідження Землі.

Видання орієнтовано на широке коло фахівців, практиків, науковців, викладачів, інженерів, аспірантів, студентів.

Редакція розглядає представлені матеріали з дотриманням авторських прав і етичних норм наукової публікації (Додаток 1).

Редакція приймає матеріали, які надаються українською, російською або англійською мовами.

Представлення рукописів

Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua або ж на альтернативних електронних носіях за адресою: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеса Гончара, 55-Б, редакція журналу “Український журнал дистанційного зондування Землі”. Якщо об’єм графічних матеріалів перевищуватиме ліміт електронної

пошти, їх надсилають окремими листами з позначкою “Додаток до листа (назва листа)”.

До рукопису додають акт експертизи установи, де виконана робота, відомості про авторів (ім’я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступень та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (див. Додаток 2) у форматі JPEG/PDF або паперові примірники.

Загальні вимоги

Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати основні результати досліджень, а не перелік питань розглянутих у статті. Рекомендується розбити матеріал статті на розділи (вступ, висновки і т. ін.). У кінці рукопису розміщують список використаних джерел, а після нього — назву статті, ініціали та прізвища авторів, резюме а також ключові слова двома мовами (російською та англійською, українською та англійською, або ж українською та російською відповідно до мови, якою написана стаття).

Оформлення рукопису

Формат документу — Word-97–2003. Гарнітура — Times New Roman. Кегль — 10–12 пунктів. Розмір сторінки — А4.

Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Виключка (вирівнювання) — по ширині, або по лівому краю.

Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення — не менше 300 dpi/inch у масштабі сторінки, кольорова модель CMYK.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті (без аббревіатур)
- Ініціали та прізвище автора (авторів). Ініціали відділяють проміжками (пробілами)
- Повна офіційна назва установи (установ), де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах перед назвою установи і після прізвища ставлять однакову цифру (верхній індекс))
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед ним та після прізвища ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті
- Ключові слова мовою статті
- © та рік
- Текст статті
- Список літератури
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме (abstract), а також ключові слова (keywords) двома мовами окрім мови статті

Текст

Пробіли (проміжки). Слова, ініціали, скорочення, знаки математичних операцій, тире (*кг, ×, с., р., і т. ін., км, Д. І. Менделєєв* тощо) відділяють пробілами (але лише одним!). За правилами правопису проміжок обов'язовий після будь-якої крапки, адже крапка — ознака нового слова. Цією нормою де-факто часто нехтують між ініціалами, а між “і т. д., і т. п.” — практично завжди. За нормами правопису не відділяють пробілами тире між цифрами (наприклад: 25–40 м), а також дефіс. Не ставлять пробіли усередині скобок, лапок, перед комою, крапкою, двокрапкою.

Не слід робити абзацний відступ за допомогою пробілів або табулятора! Для набору слів врозрядку користуйтеся не пробілами а міжлітерним інтервалом (Формат / Шрифт / Інтервал / Разреженный). Не набирайте текст увімкнувши Caps Lock.

Прізвища. Нагадуємо, що в текстах написаних *українською мовою* чоловічі українські та інші слов'янські прізвища відмінюються як відповідні іменники, а жіночі на приголосний та **о** — ні. Порівняйте: *...у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ...дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ...за Ніною Байко — за Андрієм Байком*. Отже роблячи посилання на автора, який Вам відомий лише за ініціалами і прізвище якого закінчується на приголосний або на **о**, Вам доведеться дізнатися про його статть.

Формули треба набирати у відповідному редакторі, і не вставляти їх у текст у вигляді таблиць або зображень. Не використовуйте у формулах замість відповідних символів грецької

абетки схожі за накресленням латинські або кириличні символи (наприклад: *k, k, κ* замість *κ* (каппа), *x* замість *χ* (хі)), а замість знака множення (*×*) літеру *x*. Формулам треба присвоювати наскрізну нумерацію.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Розмір кегля в таблицях — 9 пунктів. Заголовки рядків і стовпців повинні бути якомога стислими, скорочень (окрім загальноприйнятих) треба уникати. Довгі і складні заголовки рекомендується оформити у зносках до таблиці. Усі таблиці повинні мати номери (якщо їх більше однієї) і заголовки (назви). Посилання на них у тексті обов'язкове.

Ілюстрації

Усі рисунки потрібно пронумерувати (якщо їх більше одного). Посилання на них у тексті обов'язкове.

Ілюстрації (знімки, схеми, діаграми) вмонтовують у документ Word і *представляють окремими файлами у форматі TIFF* з розрізненням не менше 300 dpi на дюйм у масштабі публікації (формат публікації — A4). Рисунки повинні мати умовні знаки — “прямокутнички” з цифрою поряд.

Назву рисунка та пояснення умовних позначень треба винести до тексту.

Підписи під рисунками повинні виглядати так:

Рис. 1. Назва рисунка (якщо у рукописі лише один рисунок, слово “Рис.” не пишуть)

1 — пояснення умовного знака під номером 1; 2 — пояснення умовного знака під номером 2; 3 — пояснення умовного знака під номером 3 и так далі

Графіки мають бути виконані з використанням графічних редакторів, які щонайменше відповідають рівню MS Excel. Не представляйте виконані від руки та відскановані матеріали.

Література

Посилання на літературне джерело у тексті подають у квадратних скобках. У скобках указують порядковий номер роботи що цитується у списку літературних джерел. Список літератури роблять за алфавітом.

За алфавітним порядком спочатку ідуть джерела українською та російською мовами, а після — згідно латинської абетки — англійські — у порядку латинського алфавіту.

Бібліографічний опис документів складають згідно стандарту бібліографічного опису документів ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

При скороченні слів користуються ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” та ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. При створенні опису іноземною мовою

дотримуються також вимог ГОСТ 7.11-78 “Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках в библиографическом описании произведений печати”. Бібліографічні описи складають *de visu*, безпосередньо за оригіналами видань.

Роботи одного і того ж автора наводять у хронологічному порядку. Роботи одного і того ж самого автора у разі наявності співавторів розміщують у алфавітному порядку з урахуванням прізвища другого автора.

ДОДАТОК 1

Авторські права і етичні норми наукової публікації

Передаючи матеріали до редакції, автор гарантує наявність у нього авторських прав на рукопис і дає згоду на публікацію тексту і метаданих статті (включаючи прізвища та ініціали авторів, місця їх роботи і e-mail автора для кореспонденції) в журналі, що має на увазі поширення в друкованому варіанті, розміщення електронних копій в мережі Інтернет на сайтах журналу і спеціалізованих наукових баз даних (у тому числі наукометричних), переклад іноземними мовами. При цьому за автором зберігається право використання опублікованого в журналі матеріалу в особистих (наукових, викладацьких) цілях. Але відтворення опублікованої інформації третіми особами в будь-якому вигляді, включаючи переклад іншими мовами, можливе лише з дозволу редакції з обов'язковим зазначенням повного бібліографічного посилання.

При поданні рукопису до редакції автори гарантують відсутність у них раніше опублікованих або поданих на розгляд в інші наукові видання матеріалів з аналогічним змістом. В іншому випадку автори повинні надати редактору інформацію щодо попередньої публікації даних, що містяться в статті.

ДОДАТОК 2

Авторська згода

(документ має бути підписаний відповідальним автором публікації)

автори, направляючи рукопис у редакцію “Українського журналу дистанційного зондування Землі”, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист и використання рукопису (переданого до редакції журналу матеріалу, в т. ч. такі охоронювані об'єкти авторського права як фотографії автора, рисунки, схеми, таблиці тощо), в тому числі на відтворення у пресі та в мережі Інтернет; на поширення; на переклад рукопису на будь-які мови; експорту та імпорту примірників журналу зі статтею авторів з метою розповсюдження, на доведення до загального відома. Зазначені вище права автори передають редакції без обмеження терміну їх дії і на території всіх країн світу без обмеження, в т. ч. на території України.

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами зберігається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітніх цілях. Права на рукопис вважаються переданими Авторами редакції з моменту підписання до друку випуску журналу, в якому він публікується. Передрук матеріалів, опублікованих у журналі, іншими фізичними та юридичними особами можливий тільки зі згоди редакції, з обов'язковим зазначенням випуску журналу, в якому було опубліковано матеріал.

Я (відповідальний автор) підтверджую, що я достатньою мірою брав участь у розробці концепції/дизайну цієї роботи, аналізі даних, а також написанні рукопису для прийняття відповідальності за це. Я ознайомлений з остаточним варіантом рукопису і затвердив його для публікації. Жодного рукопису з аналогічним змістом не було опубліковано під моїм авторством і не розглядається для публікації в інших виданнях. Я також ознайомлений з вищенаведеними умовами опублікування рукопису та приймаю їх.

Дата, підпис

Адреса редакції: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олесь Гончара, 55-Б

Редакція “Українського журналу дистанційного зондування Землі”

Тел.: +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05, 486 1430. www.ujrs.org.ua