



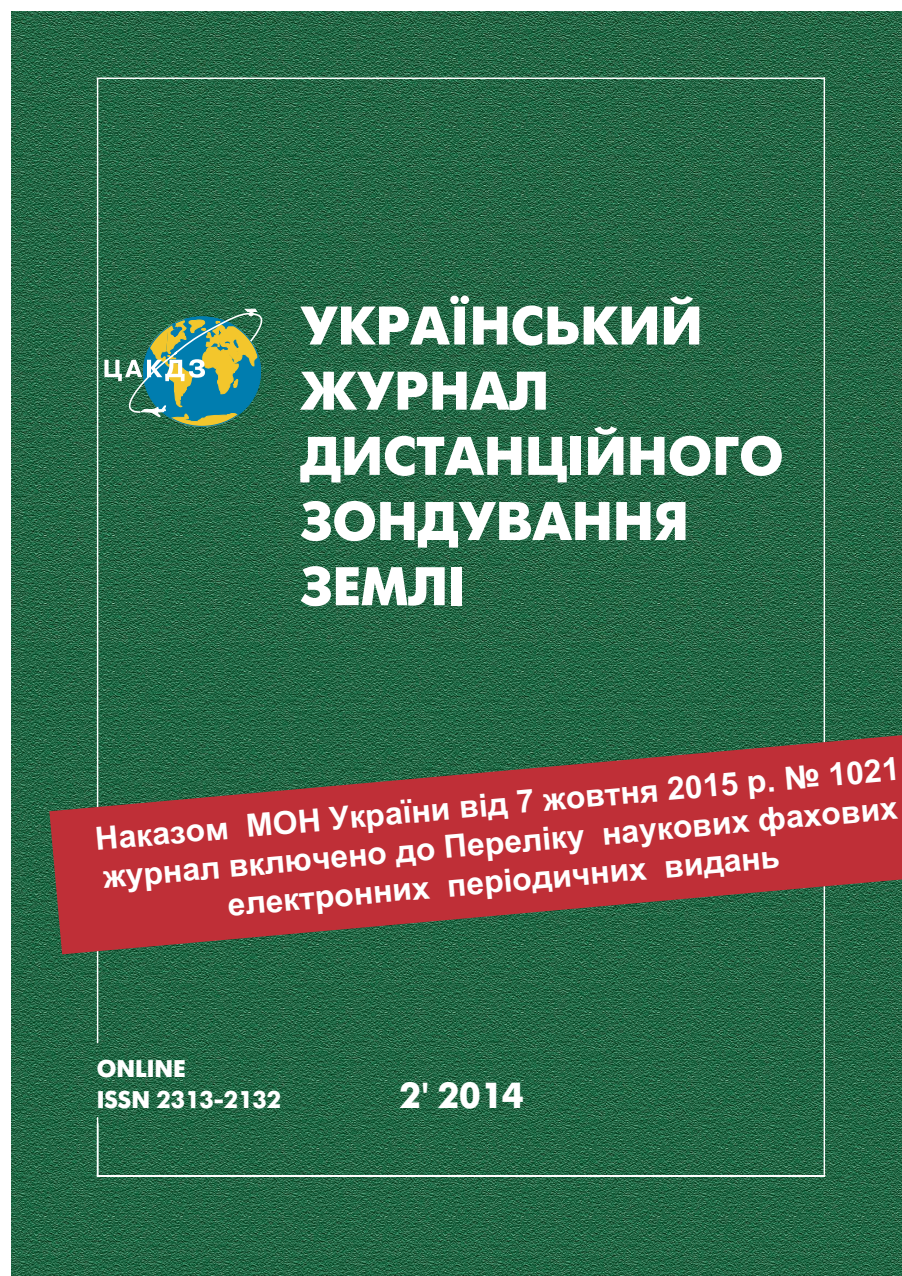
УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

11' 2016

Стань нашим читачем та автором!

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України презентує



UKRAINE JOURNAL OF REMOTE SENSING (UJRS)

Електронне наукове
фахове видання,
присвячене проблемам
вивчення Землі з космосу

ОСНОВНІ РОЗДІЛИ:

- наукові основи
дистанційного
дослідження Землі
- методи, засоби та
технології обробки та
інтерпретації
аерокосмічних зображень
- використання інформації
дистанційного
зондування Землі

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

WWW.UJRS.ORG.UA

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

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

№ 11 • 2016

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

Наказом МОН України від 7 жовтня 2015 року №1021 журнал включено до
Переліку електронних наукових фахових видань України у галузях технічних і
геологічних наук

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
<u>О. І. САХАЦЬКИЙ</u>	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. + 380 44 484 04 85 / sedlerovaolga@gmail.com

Дизайн, верстка, коректура О. І. Кудряшов / тел. + 380 44 482 03 72 / o.kudriashov@ujrs.org.ua

Редактор сайту А. Ю. Порушкевич / a.porushkevych@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.

Адреса редакції: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеся Гончара, 55-Б
тел. +380 44 486 94 05, 484 04 85; факс: +380 44 486 94 05, 486 14 30 / www.ujrs.org.ua

ЗМІСТ

Методи, засоби та технології обробки та інтерпретації аерокосмічної інформації

- ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДБИТТЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В РАДІОЛОКАТОРАХ
ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ
Л. М. Артюшин, С. А. Станкевич, Б. М. Федотов 4

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

- ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ КИЄВА ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ
ЗЕМЛІ
В. І. Вишневський, С. А. Шевчук 9
- МЕТОДИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ШКОДИ, НАНЕСЕНОЇ УКРАЇНСЬКІЙ ДЕРЖАВІ ВНАСЛІДОК
НЕЛЕГАЛЬНОГО ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ
В. Є Філіпович, Р. М. Шевчук 15
- СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ И ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДНИХ
НА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ (НА ПРИМЕРЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ)
А. И. Воробьев, В. И. Лялько, В. С. Куриленко, Т. А. Мельниченко 22
- REMOTE SENSING AND GEOSPATIAL ANALYSIS FOR MONITORING THE LANDSCAPE DYNAMICS INSIDE
THE PLAIN OF TAFILALET (MOROCCO) UNDER THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AND HUMAN
ACTIVITIES
Eddahby Lhou, Jihane Tlem ani, Mikhail Popov, Sergey Stankevich, Daoud Mezzane, Igor Lukyanchuk,
Abdelkader Larabi, Ali Essahlaoui 30
- SPACEBORNE RADAR IDENTIFICATION OF DESERT REGIONS AS SUPPLIERS OF DUST INTO THE
ATMOSPHERE
V. K. Ivanov, A. Ya. Matveyev, V. N. Tsymbal, S. Ye. Yatsevich and D. M. Bychkov 39

Персоналії

- ПАМ'ЯТІ ОЛЕКСІЯ ІЛІЧА САХАЦЬКОГО 48

- Правила та рекомендації для авторів 49

УДК 528.8.044.2:621.396

Оцінка точності вимірювання енергії відбиття земної поверхні в радіолокаторах із синтезованою апертурою

Л. М. Артюшин¹, С. А. Станкевич^{2*}, Б. М. Федотов³¹ Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна² ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна³ Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, Київ, Україна

В статті оцінено складову похибки виміру енергії відбиття від елементів розрізнення, яка обумовлена боковими пелюстками діаграми спрямованості в радіолокаційних станціях із синтезуванням апертури. Визначено оцінку математичного очікування цієї похибки. На основі типової класифікації земних покриттів для території України розраховано математичне очікування величини питомої відбивної здатності від елемента розрізнення земної поверхні в процесі синтезування апертури. Статистично оцінено точність виміру функції відбиття від областей з локальними неоднорідностями.

Ключові слова: радіолокатор із синтезованою апертурою, діаграма спрямованості, бокові пелюстки, відбивна здатність, класифікація земних покриттів

© Л. М. Артюшин, С. А. Станкевич, Б. М. Федотов. 2016

Сучасні радіолокаційні станції із синтезуванням апертури (РСА) знаходять широке застосування в багатьох природоресурсних, наукових та спеціальних задачах дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [10]. Радіолокаційні зображення земної поверхні несуть важливу інформацію про властивості та стан ландшафтів, сільськогосподарських угідь, екосистем, природних та антропогенних об'єктів і процесів [7]. Сучасні радіолокаційні системи ДЗЗ забезпечують високу просторову розрізненість, широкі смуги огляду (рис. 1), оперативність надання видо-

вої інформації, незалежність від часу доби та погодних умов [6, 8]. Необхідність одержання фізичних та біофізичних параметрів земних покриттів вимагає прецизійних вимірювань відбитих радіолокаційних сигналів. Умови радіолокаційного знімання привносять чисельні похибки до зареєстрованих величин радіолокаційного відбиття, однієї з яких є вплив бокових пелюсток діаграми спрямованості (ДС) [3]. Помилка виміру відбиття земної поверхні в РСА визначається рівнем завади, що складається з теплового шуму та сигналів від сусідніх елементів каналу на-

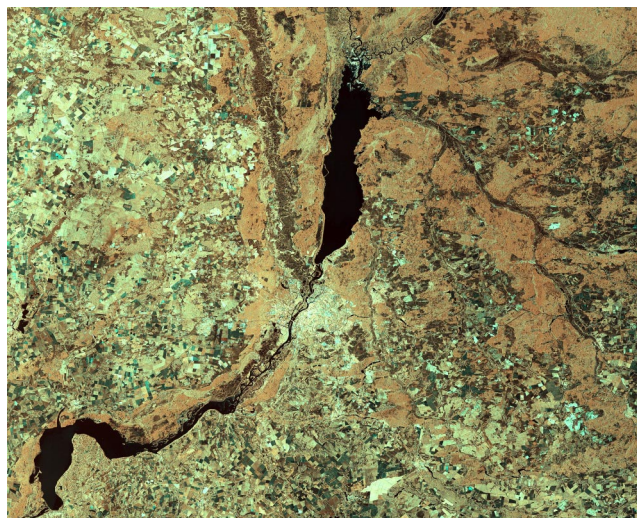


Рис. 1. Двополяризаційне радіолокаційне зображення земної поверхні супутникової системи ДЗЗ Sentinel-1A Київ, 22 серпня 2016, просторова розрізненість 10 м, режим IW GRD з фільтрацією спекл-шумів

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

хилої дальності, які обумовлено боковими пелюстками синтезованої ДС.

Відомо, що функція розподілу амплітуди поля по розкритті синтезованої апертури $D(x)$ з урахуванням форми ДС приймально-передавальної антени, усереднення відбитого сигналу по апертурі антени та впливу сферичності фронту хвилі, має вигляд [5]

$$D(x) = \sum_{i=1}^9 A_i \left[\frac{\sin(x+a_i)}{x+a_i} + \frac{\sin(x-a_i)}{x-a_i} \right], \quad (1)$$

де $x = \frac{pL}{\lambda} \sin \theta$ — узагальнена координата, L — довжина синтезованої апертури, λ — середня довжина хвилі зондувального сигналу, θ — напрям візування ДС, $a_1 = 0,87$, $a_2 = 0,87 + \frac{p}{2}$, $a_3 = 0,87 - \frac{p}{2}$, $a_4 = 0,87 + 2 \cdot 0,88$, $a_5 = 0,87 - 2 \cdot 0,88$, $a_6 = 0,87 + 2 \cdot 0,88 - \frac{p}{2}$, $a_7 = 0,87 - 2 \cdot 0,88 + \frac{p}{2}$, $a_8 = \frac{p}{2} + 0,87 - 2 \cdot 0,88$, $a_9 = \frac{p}{2} + 0,87 + 2 \cdot 0,88$, $A_1 = 0,25$, $A_2 \dots A_5 = 0,125$, $A_6 \dots A_9 = 0,0625$.

Для кутів синтезування менше за 15°

$$\theta \approx \frac{\lambda}{pL} x. \quad (2)$$

Для оцінки точності виміру функції відбиття від елементу розрізнення буде використано діаграму спрямованості синтезованої апертури і статистичні характеристики поверхонь Землі та об'єктів, що розташовані на ній. Оцінюватимуться складові похибки виміру, яка обумовлена боковими пелюстками синтезованої ДС антени РСА. Фрагмент синтезованої ДС, аналітично визначений співвідношенням (1), наведено на рис. 2, узагальнену координату x відображено в масштабі 1:5.

Розрізняльна здатність за шляховою дальністю дорівнює [4]

$$\delta \approx \frac{\lambda}{2\beta}, \quad (3)$$

де β — кут синтезування апертури.

Для забезпечення розрізненості $10 \pi \text{ см}$ кут синтезування при $\lambda = \pi \text{ см}$ дорівнюватиме

$$\beta = \frac{\lambda}{2\delta} = \frac{p \cdot 10^{-2}}{2p \cdot 10^{-1}} = 0,5 \cdot 10^{-1} \text{ рад} \approx 2,86^\circ. \quad (4)$$

На дальності 10 км довжина синтезованої апертури буде 500 метрів, коефіцієнт звуження променю — $1/666$, а кількість бокових пелюсток складатиме не менше за декілька сотень.

Вплив сигналів від бокових пелюсток буде визначати похибку вимірюваного сигналу, прийнятого головною пелюсткою ДС синтезованої апертури РСА. Для оцінки цієї похибки вважається, що площа головної пелюстки відповідає енергії вимірюваного сигналу, а сигнали бокових пелюсток визначаються їх площею і питомою відбивною здатністю елементів поверхні на інтервалі синтезування апертури. При цьому сигнали сусідніх бокових пелюсток відрізняються по фазі на 180° , тобто їх вплив на сигнал від елемента розрізнення, що вимірюється, урахуванням фази частково компенсується. Крім того, для оцінки похибки виміру треба визначити математичне очікування відбивної здатності сусідніх елементів та середнє абсолютне відхилення від цього значення.

На основі відомих експериментальних досліджень питомих відбивних здатностей різних поверхонь σ_i для кута візування $\alpha = 20^\circ$ [1, 4, 9] та їх процентного співвідношення в межах території Украї-



Рис. 2. Теоретична форма діаграми спрямованості синтезованої апертури

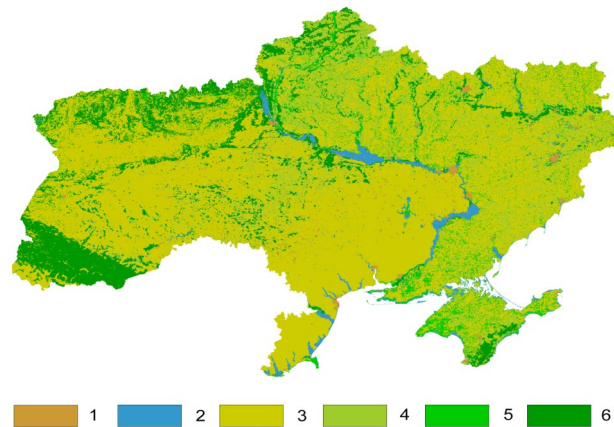


Рис. 2. Типова класифікація земних покриттів території України.

1 — штучні; 2 — водна поверхня; 3 — степ, суха трава; 4 — степ, зелена трава; 5 — сільгоспугіддя; 6 — ліс

Таблиця 1.

Розподіл типових покриттів земної поверхні в межах території України

Поверхня	σ_i відносні одиниці	імовірність появи $p(\sigma_i)$
Водна поверхня	$2 \cdot 10^{-4}$	0.03
Асфальт, бетон	$2 \cdot 10^{-3}$	0.04
Степ, суха трава	$7 \cdot 10^{-3}$	0.48
Степ, зелена трава	$1.4 \cdot 10^{-2}$	0.10
Сільгоспугіддя	$7 \cdot 10^{-2}$	0.20
Ліс	$1.4 \cdot 10^{-1}$	0.12
Невеликі будівлі	0.25	0.02
Мобільні об'єкти	0.5	0.01

ни згідно з типовою класифікацією земних покриттів [11], поданою на рис. 3, складено табл. 1.

Математичне очікування ξ величини питомої відбивної здатності від елемента розрізнення в процесі синтезування апертури [2]

$$x = E[\sigma] = \sum_i p(\sigma_i) \cdot \sigma_i, \quad (5)$$

де σ_i — питома відбивна здатність поверхні i -го типу, $p(\sigma_i)$ — ймовірність появи елемента поверхні i -го типу в каналі нахиленої дальності.

За оцінками, які наведено в табл. 1, можна одержати значення математичного очікування $\xi = 0.045646$.

Нормовані значення S_j накопиченої енергії відбитих сигналів від однаково відбивальних елементів розрізнення каналу нахиленої дальності наведено в табл. 2. Нормування здійснено відносно енергії, що накопичена при прийомі по головному пелюстку.

Знаки плюс та мінус показують, що фаза сигналів, які приймаються пелюстками, відрізняються на 180° .

Математичне очікування помилки виміру енергії відбиття від елемента розрізнення синтезованої ДС за рахунок завад по бокових пелюстках

$$\pm \frac{S_0}{\sum_{j=1}^{20} S_j} = \pm 0.00102 (0.1 \%), \quad (6)$$

де S_0 — нормована енергія головної пелюстки,

$\pm \sum_{j=1}^{20} S_j$ — нормоване комплексне сумарне значення енергії бокових пелюсток.

Середнє абсолютне відхилення дорівнює

$$E[|\sigma - \xi|] = \sum_i |\sigma_i - \xi| \cdot p(\sigma_i) = 0.049648. \quad (7)$$

Середнє відносне відхилення внеску завадового

Таблиця 2.

Нормовані значення накопиченої енергії відбитих сигналів по пелюстках

№ пелюстки j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нормоване значення енергії S_j	1.000000	0.012660	0.016780	0.013540	0.011005	0.009200	0.007880	0.006880	0.006104	0.005480	0.004969
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+

сигналу бокових пелюсток від його математичного очікування дорівнює відношенню середнього абсолютного відхилення від очікуваної питомої ефективної поверхні відбиття до очікуваної питомої ефективної поверхні відбиття

$$\frac{E\|\sigma - \xi\|}{\xi} = 0.049648:0.045646 = 1.0876747. \quad (8)$$

З урахуванням відносного середнього абсолютного відхилення внеску завадового сигналу бокових пелюсток від його математичного очікування, величина похибки виміру відбиття від елемента розрізнення знаходиться як

$$\frac{\xi + E\|\sigma - \xi\|}{\xi} \cdot \frac{S_0}{\sum_{j=1}^{20} S_j} = 0.00213. \quad (9)$$

В той же час якість виміру функції відбиття від областей місцевості з локальною неоднорідністю, особливо з невеликими значеннями ЕПР буде більш суттєвим. Прийmemo у якості поверхні, що виділяється з визначеним рівнем якості, поверхню, що має питому ЕПР наступну за мінімальним значенням ЕПР (див. табл. 1), тобто поверхню з $\sigma_i = 2 \cdot 10^{-3}$.

Математичне очікування внеску завадового сигналу Δw від бокових пелюсток будемо визначати як величину, що пропорційна добутку значення очікуваної питомої ефективної поверхні відбиття на сумарну енергію відбиття боковими пелюстками синтезованої ДС $\sigma_i w$:

$$\frac{\Delta w}{w_{\min}} = \frac{\xi}{\sigma_{\min}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{20} S_j}{S_0} = 22.823 \cdot 0.00102 = 0.02328, \quad (10)$$

де Δw — відхилення накопичуваної енергії відбиття, що обумовлено боковими пелюстками синтезованої ДС, $w_{\min}$ — енергія відбиття, що еквівалентна відбиттю від поверхні з мінімальною питомою відбивною здатністю $\sigma_{\min}$.

Отже, математичне очікування додавання в величину мінімально накопичуваної енергії від елемента розрізнення по головному пелюстку складає 2.3 %. А з урахуванням середнього відносного відхилення внеску завадового сигналу бокових пелюсток від його математичного очікування величина похибки від розрізнявального елемента відбиття з ЕПР, що має мінімальне значення $\sigma_{\min} = 2 \cdot 10^{-3}$, дорівнює

$$\frac{\xi + E\|\sigma - \xi\|}{\sigma_{\min}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{20} S_j}{S_0} = 49648 + 0.045646 : 0.0020.00102 = 0.0486. \quad (11)$$

З урахуванням значень питомої відбивної здатності земної поверхні, значень її математичного очікування та середнього абсолютного відхилення, можна встановити, що імовірність знаходження питомої відбивної здатності земної поверхні в інтервалі від значення математичного очікування плюс середнє абсолютне відхилення до максимальної питомої відбиваючої здатності p ($\sigma = 0.095 \dots 0.5$) $= 0.15$; при цьому помилка виміру енергії відбиття від елемента розрізнення з мінімальною питомою відбивною здатністю $\sigma_{\min}$ не перевищує 5 % з імовірністю $p = 0.85$.

Помилка виміру енергії відбиття від елемента розрізнення з питомою відбивною здатністю $\sigma > \sigma_{\min}$ буде суттєво меншою за наведеною вище. Наприклад, наступною за питомою відбивною здатністю згідно табл. 1 буде поверхня з $\sigma = 0.007$. Математичне очікування внеску завадового сигналу від бокових пелюсток в цьому випадку дорівнюватиме

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{\xi}{\sigma} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{20} S_j}{S_0} = 6.52 \cdot 0.00102 = 0.007, \quad (12)$$

тобто математичне очікування додавання до величини мінімально накопичуваної енергії від елемента розрізнення по головному пелюстку дорівнює 0.7 %. А з урахуванням середнього відносного відхилення внеску завадового сигналу бокових пелюсток від його математичного очікування величина похибки від розрізнявального елемента відбиття з ЕПР, що має значення $\sigma = 7 \cdot 10^{-3}$, дорівнює

$$\frac{\xi + E\|\sigma - \xi\|}{\sigma} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{20} S_j}{S_0} = 0.014 - \quad (13)$$

помилка виміру енергії відбиття від елемента розрізнення в цьому разі не перевищує 1.4 % з імовірністю $p = 0.85$.

Таким чином, враховуючи функцію розподілу амплітуди поля за розкритом синтезованої апертури, яка визначається формою ДС приймально-передавальної антени, усередненням відбитого сигналу по апертурі фізичної антени та впливом сферичності фронту хвилі, оцінку впливу бокових пелюсток на рівень завадового сигналу можна характеризувати наступними величинами:

1. Математичне очікування помилки виміру енергії відбиття від елемента розрізнення синтезованої ДС, що обумовлено завадами по бокових пелюстках, складає ± 0.1 %.

2. Математичне очікування додавання або зменшення до величини мінімально накопичуваної енергії від елемента розрізнення по головному пелюстку, що вимірюється, не перевищує 2.3 %, а його відносне середнє абсолютне відхилення від цього значення дорівнює 4.8 %.

3. При вимірі енергії відбиття від елементів розрізнення місцевості з питомою відбивною здатністю,

яка відрізняється від мінімально вимірюваної, складова завадового сигналу, що обумовлюється боковими пелюстками, не перевищує 1 %.

4. З імовірністю 0.85 помилка виміру енергії відбиття від елемента розрізнення цілі з мінімальною питомою відбивною здатністю не перевищує 5%.

Наведені розрахунки свідчать, що похибки вимірювання відбиття земної поверхні в РСА, обумовлені боковими пелюстками діаграми спрямованості, в більшості випадків не заважають вирішенню типових задач дистанційного зондування Землі.

Література

1. Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турк; под. ред. В. С. Вербы. — М.: Радиотехника, 2010. — 680 с.
2. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы / Г. Корн, Т. Корн; пер. с англ. — М.: Наука, 1984. — 831 с.
3. Коберниченко В. Г. Особенности формирования изображений в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой / В. Г. Коберниченко // Теория и практика радиолокации земной поверхности. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. — № 19(71). — С. 43—50.
4. Радиолокационные станции воздушной разведки / Под ред. Г. С. Кондратенкова. — М.: Воениздат, 1983. — 152 с.
5. Федотов Б. Н. Факторы, определяющие расширение диаграммы направленности радиолокатора с синтезированной апертурой, и оценка их совместного влияния на разрешающую способность / Б. Н. Федотов, А. А. Слюсарчук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил, 2011. — № 1(27) — С. 111—115.
6. Федотов Б. Н. Технология увеличения ширины полосы обзора спутниковых радаров сверхвысокого разрешения / Б. Н. Федотов, С. А. Станкевич // Космічна наука і технологія, 2013. — Т. 19. — № 1 — С. 38—43.
7. Dobson M. C. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar / M. C. Dobson, F.T. Ulaby, L.E. Pierce // Remote Sensing of Environment, 1995. — Vol. 51. — No.1. — P. 199—214.
8. Geudtner D. Sentinel-1 system capabilities and applications / D. Geudtner, R. Torres, P. Snoeij, M. Davidson, B. Rommen // Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'14). — Quebec: IEEE, 2014. — P. 1457—1460.
9. Long M. W. Radar Reflectivity of Land and Sea / M. W. Long. — Boston: Artech House, 2001. — 534 p.
10. Oliver C. Understanding Synthetic Aperture Radar Images / C. Oliver, S. Quegan. — Raleigh: SciTech Publishing, 2004. — 512 p.
11. Tsendbazar N.-E. Spatial accuracy assessment and integration of global land cover datasets / N.-E. Tsendbazar, S. de Bruin, S. Fritz, M. Herold // Remote Sensing, 2015. — Vol.7. — No. 12. — P. 15804—15821.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ОТРАЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАДИОЛОКАТОРАХ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Л. М. Артюшин, С. А. Станкевич, Б. Н. Федотов

В статье оценена составляющая ошибки измерения энергии отражения от элементов разрешения, обусловленная боковыми лепестками диаграммы направленности в радиолокационных станциях с синтезированием апертуры. Определена оценка математического ожидания этой ошибки. На основе типовой классификации земных покрытий для территории Украины рассчитано математическое ожидание величины удельной отражающей способности от элемента разрешения земной поверхности в процессе синтезирования апертуры. Статистически оценена точность измерения функции отражения от областей с локальными неоднородностями.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, диаграмма направленности, боковые лепестки, отражающая способность, классификация земных покрытий

ACCURACY ASSESSMENT OF THE LAND SURFACE REFLECTANCE MEASURING IN SYNTHETIC APERTURE RADAR

L. M. Artyushyn, S. A. Stankevich, B. N. Fedotov

The error component of bin reflection energy measuring due to side lobes in synthetic aperture radar is estimated in the paper. The mean expectation of this error was estimated. The mean expectation value of land surface bin reflectivity during aperture synthesizing was calculated using the standard land cover classification for Ukraine territory. The accuracy of reflectance measuring within local non-homogeneities area was evaluated statistically.

Keywords: synthetic aperture radar, directional response pattern, minor lobes, reflectance, land cover classification

УДК 528.88: (477-25)

Оцінювання стану водних об'єктів Києва за даними дистанційного зондування Землі

В. І. Вишневський*, С. А. Шевчук

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна

Висвітлено результати використання даних ДЗЗ, виконаних супутником Landsat 8, для з'ясування екологічного стану водойм м. Києва. Встановлено, що протягом року цей стан зазнає помітних змін. Найбільші зміни і водночас відхилення від стану Дніпра властиві для озер. Для оцінювання стану водних об'єктів запропоновано використовувати індекси NDPI, NDYI та значення каналу ВЗ, який відповідає зеленому кольору випромінювання.

Ключові слова: водойми Києва, Landsat 8, “цвітіння” води, екологічний стан, температура води

© В. І. Вишневський, С. А. Шевчук. 2016

Вступ

Екологічний стан водойм м. Києва — питання, яке цікавить не лише науковців, а й пересічних громадян. Значною мірою це пов'язано з наявністю в місті великої кількості водойм, які використовуються у багатьох сферах, зокрема, рекреації.

Огляд раніше виконаних досліджень

Екологічний стан водойм Києва, яких у місті дуже багато, перебував і продовжує перебувати у полі зору багатьох дослідників [1–5, 9]. Зокрема цьому питанню присвячено численні праці фахівців Інституту гідробіології НАНУ [2–4, 9]. Для багатьох київських водойм встановлено гідрохімічні особливості, поширення водної та повітряно-водної рослинності. Значну увагу приділили дослідники і “цвітінню” води. Це явище насамперед спричинено бурхливим розвитком синьозелених водоростей (ціанобактерій), кількість яких може сягати кількох мільйонів на кубічний сантиметр. Встановлено, що цей процес найбільшого розвитку набуває у слабо проточних водоймах; йому сприяє наявність у воді сполук азоту і фосфору. Максимум чисельності клітин водоростей та їх біомаси спостерігається приблизно тоді, коли настає найвища температура води. Існують значні коливання не лише кількості водоростей протягом року, а й їх видового складу. Важливим є факт того, що водорості різних систематичних груп істотно різняться за розміром: порівняно великими є діатомові, дрібними — синьозелені.

Ці результати отримано за даними польових досліджень, а саме вимірюванні відповідних показників на місці, а також шляхом аналізу проб у лабораторних умовах. Хоча цей метод є загальноприйнятим, але у ньому є певні недоліки. Головними з них є велика вартість, а головне — неможливість одночас-

ного охоплення дослідженнями великої кількості водойм. Тож стан окремо взятих водойм вивчаються в різний час, що, звісно, ускладнює можливість порівняння отриманих результатів.

Значну увагу екологічному стану Дніпра, зокрема гідрохімічним показникам та розвитку “цвітіння” біля Києва приділено у книзі [1]. У цьому разі вихідними даними стали матеріали багаторічних спостережень, що мають значну повторюваність. За даними моніторингу, який виконується на водозаборі Дніпровської водопровідної станції, встановлено середню багаторічну кількість клітин водоростей: червень — 19 тис., липень — 34 і серпень — 35 тис. клітин на кубічний сантиметр. Це істотно менше, ніж спостерігається у багатьох київських водоймах, адже вода до водозабору ДВС надходить переважно з придонних шарів Київського водосховища.

Останнім часом у встановленні екологічного стану водойм з'явився новий напрям, а саме той, що спирається на дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). У цьому разі для оцінювання стану водних об'єктів використовують не лише зображення водних об'єктів у кольорах, близьких до природних, а й певні індекси, які є комбінацією каналів знімальної апаратури. Найбільше поширення набули індекси NDTI (Normalized Difference Turbidity Index), NDPI (Normalized Difference Pond Index) та NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Відповідні формули для розрахунку цих індексів мають вигляд:

$$NDTI = (B4 - B3) / (B4 + B3),$$

$$NDPI = (B6 - B3) / (B6 + B3),$$

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4),$$

де B3, B4, B5 і B6 — інтенсивність випромінювання відповідних каналів знімальної апаратури супутника.

Використання цих індексів дає змогу краще візуалізувати просторові відмінності, що існують на поверхні водних об'єктів.

Зазначимо, що у зв'язку з порівняно невисокою

* E-mail: vishnev@voliacable.com

роздільною здатністю супутникових знімків увага дослідників переважно спрямована на з'ясування стану великих водойм, зокрема морів та їх прибережної смуги. Для цих умов встановлено певні кореляційні співвідношення між концентрацією фітопланктону і даними ДЗЗ. З'ясовано [11], що присутність фітопланктону у воді спричинює появу піку у спектрі випромінювання з довжиною хвиль близько 0.55 мкм. При цьому випромінювання синіх і червоних променів зменшується.

З внутрішніх водойм України найбільший обсяг досліджень у сфері використання ДЗЗ виконано щодо оцінювання екологічного стану дніпровських водосховищ [5–8]. У цьому разі мають бути передусім згадані роботи Ф. Т. Шумакова та його колег. Зокрема у праці [8] на основі даних супутника Landsat 7 встановлено наявність залежності між прозорістю води та концентрацією хлорофілу *a* з показниками каналів B1 і B2. У праці [5] на підставі даних ДЗЗ виконано оцінювання рівня трофності Київського та інших водосховищ Дніпровського каскаду.

У цілому, характеризуючи результати виконаних досліджень, потрібно зазначити, що для оцінювання екологічного стану київських водойм методи ДЗЗ практично не використовувалися. Так само — досі немає однозначної відповіді на питання того, які водойми мають кращий екологічний стан, а які гірший.

Методика досліджень

Головною інформаційною базою цього дослідження стали дані супутника Landsat 8, що був запущений на початку 2013 р. Цей супутник обладнаний кількома сенсорами, спроможними визначати потужність випромінювання в кількох діапазонах частот. Просторове розрізнення зображень більшості каналів становить 15–30 м. Періодичність зйомки супутником певних ділянок земної поверхні становить 16 діб. У зоні перекриття зображень періодичність зйомки вдвічі менша.

Територія м. Києва знаходиться майже в центрі серії знімків LC8181025. Час цієї зйомки — 8:49 за

Всесвітнім часом. Крім того, майже все місто, за винятком його південно-східної частини, потрапляє на знімки серії LC8182025. Знімання цієї території виконується о 8:55 за Всесвітнім часом. Протягом теплового періоду року Київський час різниться від згаданого на 3 год. Отже, зйомка в обох випадках приблизно виконується о 11:50 за Київським часом.

Зкачування знімків Landsat 8 виконувалося із сайту Геологічної служби США (<http://glovis.usgs.gov>). У зв'язку з великим розміром файлів, який близький до 1 Гбт, спочатку здійснювався відбір якісних зображень, які не захмарені. За цим відбувалося їх зкачування та обробка. В останньому разі використано програму ArcMap10.

Основну увагу в дослідженнях було спрямовано на найбільші і водночас характерні водойми Києва. Звичайно показники якості води визначалися в центральній частині водойм. У затоці Верблюд, що має неправильну форму, показники встановлювалися для середини найбільшого плеса, що віддалене від Дніпра.

Ще одним джерелом даних були матеріали моніторингу Київського водоканалу за розвитком водоростей і загалом за якістю води на водозаборі ДВС. Важливо, що відповідний моніторинг виконується туг щоденно.

Певну увагу в дослідженнях було спрямовано на безпосереднє ознайомлення з водоймами. У цьому разі оцінювалися поширення водної та повітряно-водної рослинності, рівень “цвітіння”, вимірювалися прозорість води та її температура.

Виклад основного матеріалу

Стан київських водойм можна оцінити за супутниковими зображеннями, використовуючи певні засоби їх обробки. Для цього використано згадані вище індекси NDTI, NDPI і NDVI, які є комбінацією довжини хвиль певного діапазону випромінювання. Це дало змогу побудувати зображення київських водойм у широкій гаммі кольорів. Основну увагу приділено стану водойм у теплий період року, коли цей стан є найбільш проблемним (рис. 1).

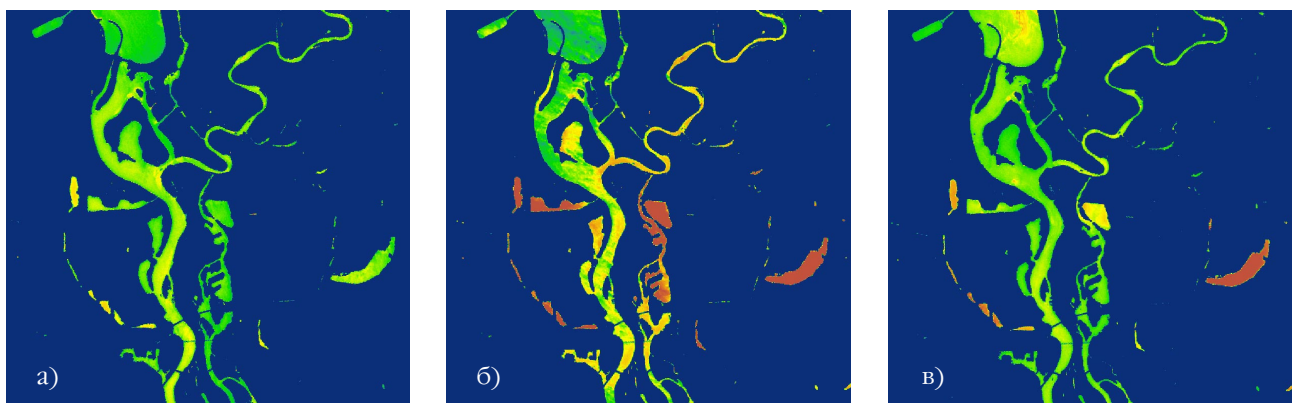


Рис. 1. Зображення київських водойм, отримані за значеннями індексу NDPI: за 06.06.2014 (а), 30.07.2014 (б) і 1.09.2014 (в)

Наведені на рис. 1 зображення показують, що стан водойм Києва зазнає значних коливань у часі. Порівняно сталим є вигляд води в основному руслі Дніпра. Натомість окремі його затоки, а особливо озера, істотно змінюють свій стан. Найбільші відхилення від стану Дніпра спостерігаються тоді, коли розвиток “цвітіння” води досягає свого максимуму, а саме — у другій половині липня та першій половині серпня.

Найбільша сталість показників стану води і невелике її “цвітіння” властиві для верхової водойми Київської ГАЕС та нижнього б’єфу Київської ГЕС. В обох випадках це зумовлено забором води з доволі великих глибин Київського водосховища. Крім того, певну роль відіграє значне перемішування. З іншого боку, наявні зображення показують наявність сильного “цвітіння” в озерній системі Опечень (ліва частина рис. 1), затоці Доманя (центр рисунка), озері Алмазне (права частина рисунка).

Засоби обробки супутникових зображень дають змогу отримати їх у вигляді, що близький до природних кольорів. У цьому разі використано комбінацію каналів B2, B3 і B4 супутника. Ці зображення показують, що дійсно вода набуває найбільш зеленого кольору у другій половині літа. Порівняно сталим є колір води у Дніпрі. В його затоках та особливо озерах зміни кольору значно більші (рис. 2).

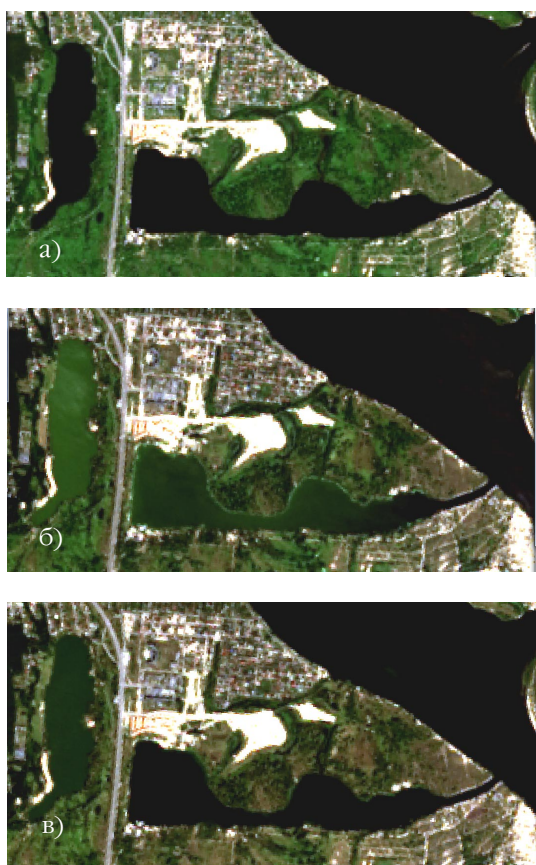


Рис. 2. Зображення оз. Редчине (Міністерське), затоки Верблюд і прилеглої ділянки Дніпра, побудовані за комбінацією каналів B2, B3 і B4: 06.06.2014 (а), 30.07.2014 (б) і 1.09.2014 (в)

Наведене зображення дає змогу побачити насправді важливою є роль водообміну. У віддаленому від Дніпра плесі затоки Верблюд “цвітіння” води у другій половині літа значно більше, ніж у наближеній до Дніпра частині. Ще більшим є розвиток “цвітіння” в оз. Редчине. Побутує думка, що вода в ньому дуже чиста, але, як видно, погодитися з цим можна лише частково.

Доволі цікавим і не лише в науковому значенні є екологічний стан водойм, розташованих у південно-східній частині Києва: озер Вирлиця, Тягле, Небриж та ін. Деякі з цих озер використовуються в рекреації, хоча якість води в них є сумнівною. Звичайно найгірша вона у другій половині літа (рис. 3).

Як видно на рис. 3, найбільше від сусідніх виділяється оз. Тягле (у центрі), яке тут є найбільшим. Це озеро виділяється і за іншими індексами.

Обстеження зазначених озер показало, що в цій частині Києва оз. Тягле є найпроблемнішим. У другій половині літа у ньому спостерігається гіперцвітіння. При цьому прозорість води в ньому за диском Секкі становить лише 0.3–0.4 м.

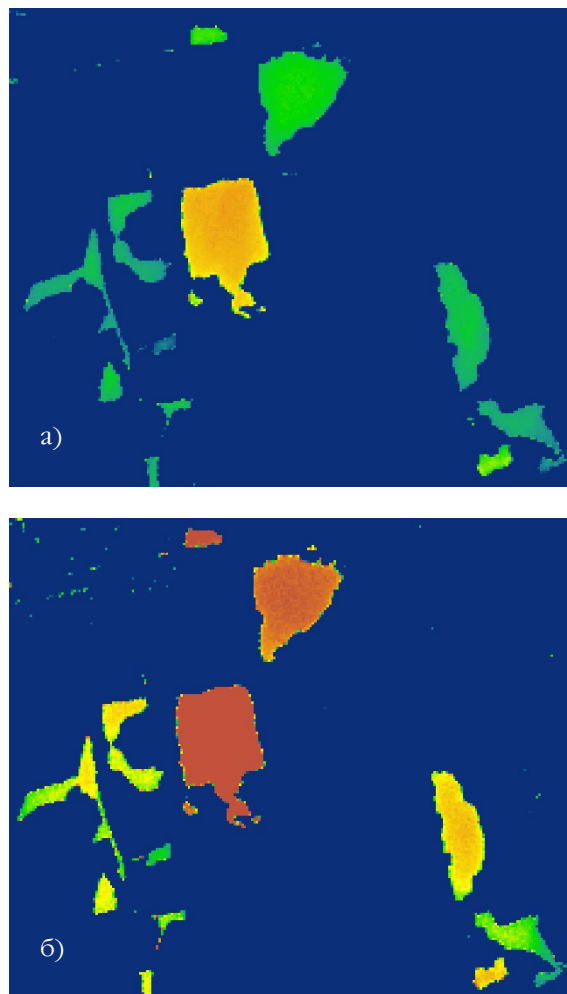


Рис. 3. Зображення озер в південно-східній частині Києва, побудовані відповідно до значень NDPI (а) та NDVI (б); знімок за 28.08.2015

Характерно, що на берегах озера немає навіть всюдисющих риботовів.

Розвиток “цвітіння” можна характеризувати також значеннями каналу ВЗ супутника Landsat 8, який налаштований на довжину хвиль 0.53–0.59 мкм. Попри існування певних коливань в окремо взятих водоймах, найбільші кількісні показники цього каналу в цілому припадають на липень і зрідка на серпень. Це саме той час, коли “цвітіння” води є максимальним (рис. 4).

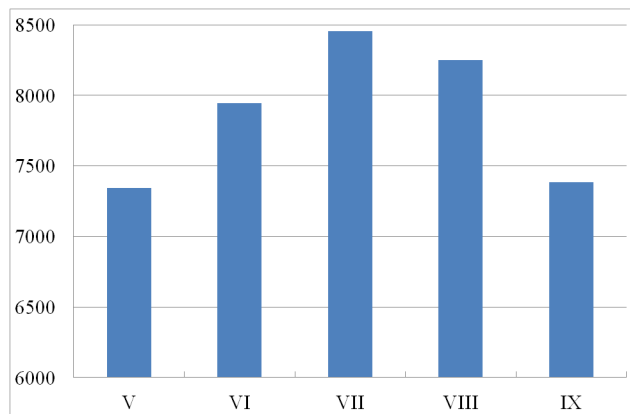


Рис. 4. Розподіл значень каналу ВЗ київських водойм протягом періоду з травня по вересень

Зауважимо, що відповідно до [1], найбільший рівень розвитку фітопланктону на водозабір ДВС припадає на серпень, тобто дещо пізніше, ніж для більшості київських водойм. Це пояснюється згаданим вище фактом забору води ДВС, куди вона надходить переважно з придонних шарів Київського водосховища.

Можна припустити, що для київських водойм існує певний зв'язок між значеннями каналу ВЗ та широким набором індексів NDVI, NDPI та NDTI. Виявилося, цей зв'язок дійсно існує, але тісний він лише з індексом NDPI та NDTI. Найтісніший він у період, коли розвиток водоростей найбільший (рис. 5).

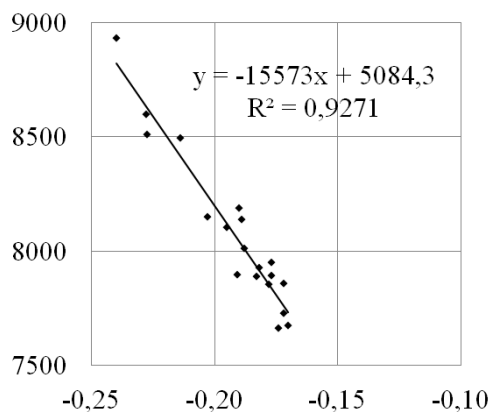


Рис. 5. Зв'язок між кількісними показниками каналу ВЗ та індексом NDPI київських водойм за даними зйомки супутником Landsat 8, 28.08.2015

Загалом велика тіснота зв'язку між показниками каналу ВЗ та індексом NDPI з коефіцієнтом кореляції понад 0.8 спостерігається протягом усього літнього періоду.

Найменші кількісні показники каналу ВЗ властиві для верхньої водойми Київської ГАЕС та нижнього б'єфу Київської ГЕС. Характерні значення становлять тут 7 500–8 000. Зі збільшенням трофності зростає і показник ВЗ. Для озера Тягле, водна поверхня яких улітку реально зелена, показник каналу ВЗ часто перевищує 9 000. Подібне стосується оз. Лісове (Берізка), що розташоване у східній частині Києва на південь від Броварського шосе.

Наведені дані дають змогу характеризувати стан водних об'єктів за ступенем відхилення від референційних умов, якими можна вважати стан води у верхній водоймі Київської ГАЕС і в нижньому б'єфі Київської ГЕС. Показники якості води тут значно більш стабільні, ніж у затоках Дніпра та особливо озерах.

Для оцінки стану водних об'єктів можна використати словесний опис, близький до того, що рекомендований у “Методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями” [4]. У цьому документі рекомендовано виділяти п'ять класів і сім категорій якості води. Назва класів за станом вод є такою: відмінні, добрі, задовільні, погані і дуже погані. У межах класів виділяють сім категорій якості води. Першому класу відповідає чудова якість. У другому класі виділяють категорії “дуже добра” і “добра”, у третьому — “задовільна” і “посередня”, у четвертому — “погана”, у п'ятому — “дуже погана” (таблиця).

Стан київських водойм за рівнем “цвітіння” води

Водойма	Стан
Верхова водойма Київської ГАЕС, нижній б'єф Київської ГЕС	Дуже добрий
Верблюдовий, Собаче гирло, Редчине, Святошинський	Добрий
Сонячне, Лебедине, Алмазне	Задовільний
Вербне, Райдуга, Тельбин	Посередній
Кирилівське, Заплавне, Доманя, Небріж	Поганий
Лісове (Берізка), Тягле	Дуже поганий

У цілому кращий екологічний стан спостерігається там, де більший водообмін: в основному руслі Дніпра він кращий, ніж у затоках, а в затоках кращий ніж в озерах. Деякий вплив на розвиток “цвітіння” має також поширення вищої водної рослинності. У водоймах, де згаданої рослинності багато, розвиток “цвітіння” порівняно невеликий і, навпаки. Так, проблемний стан оз. Алмазне певною мірою пояснюється тим, що вищої водної рослинності в ньому дуже мало. Це зумовлено особливостями морфометрії озера, а саме невеликою площею мілководних ділянок. Показники каналу ВЗ та індексу NDPI

свідчать про менший розвиток “цвітіння” у більш зарослій північно-східній частині оз. Алмазне, ніж в його південно-західній частині.

У свою чергу, проблемний стан оз. Лісове (Берізка) зумовлений тим, що в другій половині літа воно стає непроточним і зменшується в розмірах. У цей час прозорість води в озері за диском Секкі становить лише 30–35 см.

З іншого боку, доволі забрудненим вважається Святошинський став, який знаходиться північніше автошляху на Житомир. Але дані ДЗЗ цього не показують. Можливо це пов'язано з доволі гарною проточністю, адже через став протікає р. Нивка. Певну роль у стримуванні розвитку водоростей вірогідно має значний розвиток повітряно-водної рослинності, яка вкриває мілководдя ставу.

Деякі особливості якісного стану мають водойми в південно-східній частині Києва: озера Вирлиця, Тягле, Заплавне, Небріж та ін. За наявними даними, для всіх цих водойм характерне значне “цвітіння” води. Зокрема, воно властиве для найбільшого тут оз. Тягле. Проблемний стан цього озера вірогідно пов'язаний з близькістю Бортницької станції аерації, яка до того ж знаходиться на вищих позначках.

Порівняно невеликим є “цвітіння” води в оз. Вирлиця. Можна припустити, що розташований поряд з озером сміттєспалювальний завод “Енергія” здійснює штучне пригнічення розвитку фітопланктону.

До важливих параметрів екологічного стану водних об'єктів належить і температура води. З метою її визначення використано дані каналу В10 супутника Landsat 8 та виконано відповідний розрахунок за формулою, що рекомендована Геологічною службою США:

$$T = (1321.08 / (\ln((774.89 / ((^{\circ}\text{LC80990232013252LGN00_B10.TIF}^{0.0003342} + 0.1)) + 1)))) - 273.15.$$

Як було встановлено авторами раніше [6], отримані дані щодо температури води доволі добре відповідають її фактичним значенням. Хоча порівняно невисока роздільна здатність каналу В10 (100 м) не дає змоги встановлювати температуру води у невеликих водоймах, існує можливість її визначення в основному руслі Дніпра, його головних рукавах, а також великих затоках та озерах (рис. 6).

Наведені на рис. 6 дані свідчать про те, що в найспекотніший період року температура поверхневого шару води у водоймах Києва має значні відмінності. Найнижча вона в нижньому б'єфі Київської ГЕС, куди вода скидається зі значних глибин, де температура нижча, ніж на поверхні. З віддаленням від ГЕС температура води зростає і на нижній околиці Києва може бути на 2°C і вищою, ніж у нижньому б'єфі ГЕС.

Деякий вплив на температуру води в Дніпрі чинить і Десна, вода в якій у місці злиття цих річок улітку тепліша. Найвища ж температура води в межах Києва спостерігається в затоках (особливо з невеликим водообміном) та особливо озерах. У цьому разі існує прямий кореляційний зв'язок з розвитком фітопланктону: у водоймах зі значним “цвітінням” води її температура вища, ніж з малим і, навпаки.

Висновки

Дані супутника Landsat 8 та результати їх обробки дають змогу оцінювати екологічний стан водойм м. Києва. Протягом року цей стан зазнає значних ко-

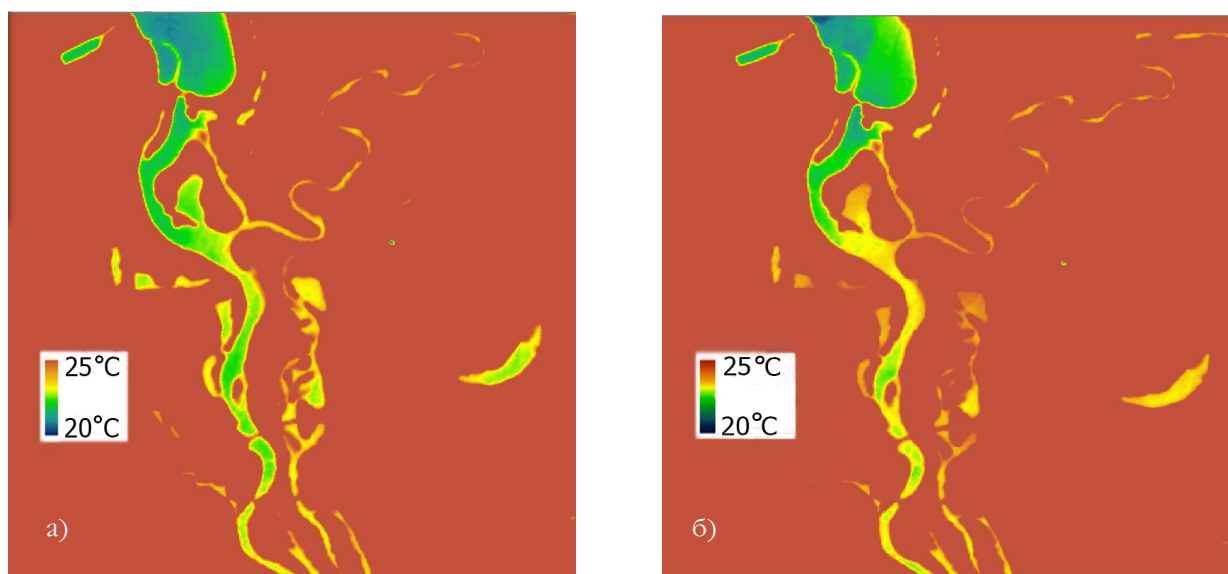


Рис. 6. Температура водної поверхні київських водойм у липні: 13.07.2016 (а) і 29.07.2016 (б)

ливань. Більш сталим є стан Дніпра, мінливішим — його заток та особливо озер. Найбільші відмінності між умовами в Дніпрі та в озерах спостерігаються у другій половині липня—першій половині серпня, коли найвищою є температура води та набуває найбільшого розвитку її “цвітіння”. Оцінювання цього процесу можна здійснювати за індексами NDPI, NDTI та каналом ВЗ. За отриманими даними запропоновано класифікацію екологічного стану київських водойм. Найкращим є стан верхової водойми Київської ГАЕС і нижнього б’єфу Київської ГЕС, дуже поганим — озер Лісове (Берізка) і Тягле.

Скидання води з придонних шарів Київської ГЕС зумовлює те, що найхолодніша вода влітку спостерігається в її нижньому б’єфі. Униз за течією температура води поступово зростає: частково завдяки прогріванню, частково завдяки впливу Десни, температура в якій улітку вища, ніж у Дніпрі. У літній період найтеплішою є вода в затоках Дніпра та в київських озерах.

Література

1. Вишневецький В. І. Ріка Дніпро / В. І. Вишневецький. — К.: Інтерпрес ЛТД, 2011. — 384 с.
2. Екологічні проблеми київських водойм і прилеглих територій / О. В. Романенко, О. М. Арсан, Л. С. Кіпніс, Ю. М. Ситник. — К.: Наукова думка, 2015. — 192 с.
3. Ключенко П. Д. Структурно-функціональна організація фітопланктону в зарослях і на открытых участках озер г. Києва / П. Д. Ключенко, Т. Ф. Шевченко, Г. В. Харченко // Гидробиологический журнал. — 2015. — Т. 51, № 1. — С. 49–65.
4. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукінський, О. П. Оксіюк [та ін.]. — К.: СИМВОЛ-Т, 1998. — 28 с.
5. Толстохатко В. А. Мониторинг днепровских водохранилищ по данным дистанционного зондирования Земли со спутника Landsat / В. А. Толстохатко, Л. А. Антоненко, Ф. Т. Шумаков Ф. Т. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 3–11 (45). — С. 49–53.
6. Шевчук С. А. Використання даних супутника Landsat 8 для визначення мікрокліматичних особливостей Києва / С. А. Шевчук, В. І. Вишневецький [Електронний ресурс] // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2016. — № 10. — С. 10–16. — Режим доступу до журналу: <http://www.ujrs.org.ua>
7. Шевчук С. А. Визначення екологічного стану водосховищ за допомогою методів дистанційного моніторингу / С. А. Шевчук, І. А. Шевченко // Меліорація і водне господарство. — 2012. — Вип. 100. Том 2. — С. 42–52.
8. Шумаков Ф. Т. Разработка методов космического мониторинга трофического состояния водоемов / Ф. Т. Шумаков // Ученые записки Таврийского национального университета имени В. И. Вернадского. — Серия “География”. — Том. 24 (63). 2011. — № 3. — С. 162–172.
9. Щербак В. И. Сезонная динамика фитопланктона киевского участка Каневского водохранилища / В. И. Щербак, А. М. Задорожная // Гидробиологический журнал. — 2013. — Т. 49, № 2. — С. 28–38.
10. Blondeau-Patissier D. et al. A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for detection, mapping and analysis of phytoplankton in coastal and open oceans. Progress in Oceanography, 2014, vol. 123, pp. 123–144.
11. Clemas V. Remote sensing of algal blooms: an overview with case studies. Journal of Coastal Research, 2012, vol. 28, pp. 34–43.
12. Trescott A. Remote sensing of algal blooms and cyanobacteria in lake Champlain, 2012. — 95 p.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КИЕВА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В. И. Вишневецкий, С. А. Шевчук

Представлены результаты использования данных ДЗЗ, выполненных спутником Landsat 8, для выяснения экологического состояния водоемов г. Киева. Установлено, что в течение года это состояние испытывает заметные колебания. Наибольшие колебания и одновременно отклонения от состояния Днепра характерны для озер. Для оценки состояния водных объектов предложено использовать индексы NDPI, NDTI и значение канала ВЗ, который соответствует зеленому цвету излучения.

Ключевые слова: водоемы Киева, Landsat 8, “цветение” воды, экологическое состояние, температура воды

EVALUATION OF STATUS OF KYIV WATER BODIES USING REMOTE SENSING DATA

V. I. Vyshnevskiy, S. A. Shevchuk

The were presented the results of remote sensing data, made by satellite Landsat 8, for estimation of the ecological status of water bodies in Kyiv. The were found that during the year this status changes in large scale. The largest fluctuations and simultaneous deviation from the state of the Dnipro river obtained for lakes. For the determination of water bodies status there were proposed to use indexes NDPI, NDTI and the meaning of B3 channel, which corresponds to the green color.

Keywords: water bodies of Kyiv, Landsat 8, “bloom” of water, environmental condition, water temperature

УДК 528.88+553.99+504.9

Методика і технологія оцінки шкоди, нанесеної Українській державі внаслідок нелегального видобутку бурштину

В. Є. Філіпович *, Р. М. Шевчук

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

На основі супутникового моніторингу визначено, що за неповних 5 місяців (серпень 2015 р.–березень 2016 р. за винятком зимових місяців) на дослідній ділянці розміром 295,6 га приріст порушених земель внаслідок нелегального видобутку склав 48,4 га, а мінімальні збитки від пошкодження і забруднення тільки земельних ресурсів склав 4,3 млн. гривень. Запропонована методика має універсальний характер і може використовуватися при моніторингу дотримання природоохоронного законодавства та прийнятті управлінських рішень на територіях відкритого видобутку корисних копалин.

Ключові слова: бурштин, нелегальний видобуток, багатозональна космічна зйомка, екологічний моніторинг, оцінка збитків

© В. Є. Філіпович, Р. М. Шевчук. 2016

Вступ

Екологічні та економічні наслідки нелегального видобутку бурштину на територіях Українського Полісся набули катастрофічних масштабів. Для протистояння таким явищам необхідно розробити і ввести в дію цілу низку заходів: від законодавчого врегулювання видобутку бурштину до повної рекультивациі пошкоджених земель [1–3].

Для з'ясування масштабів нелегального видобутку бурштину, визначення площ, що потребують заходів рекультивациі і відтворення екологічного стану необхідно провести детальну інвентаризацію пошкоджених територій, оперативно оцінити збитки, що несе держава. В основу існуючих методик і технологій оцінки пошкодження земельних ресурсів [4–7] покладено різнобічний аналіз площ порушення і забруднення, які визначаються переважно наземними методами, рідше за допомогою аерознімання або із застосуванням дронів. Недоліками таких технологій є: а) — низька оперативність, б) — висока ціна за 1 км² аерозйомки, в) — невисока точність отриманої з дронів інформації.

Постановка завдань

Для оцінки масштабів катастрофи запропоновано використання багатозональних космічних даних у моніторинговому режимі, як на регіональному (область, регіон) так і на детальному (район, окремі господарства) рівнях [7–9]. Головною метою досліджень є розробка методики, максимально наближеної до автоматичної, оперативне виявлення місць нелегального видобутку бурштину і оцінка шкоди, заподіяної державі.

Методика дослідження та вихідні матеріали

Методика виявлення місць нелегального видобутку бурштину базується на спектральних та текстурних відмінностях цих місць від оточуючих, непошкоджених лісових і лісово-болотних ландшафтів. На основі експериментальних даних розроблено алгоритм та технологічну схему цифрової обробки багатозональних космічних даних на регіональному і детальному рівнях (рис. 1).

Технологія включає: вибір та отримання цифрової космічної інформації; різні види (за необхідністю) корекцій даних; класифікація та посткласифікаційна обробка зображень з метою виділення класу, що відповідає порушеному ґрунтово-рослинному шару у місцях нелегального видобутку бурштину; векторизація отриманих даних; верифікація отриманих даних на доступних ділянках (польові дослідження), складання ПС порушених територій; зняття кількісної інформації і оцінка заподіяної шкоди за прийнятими в Україні стандартними методиками [4–6]. Зауважимо, що головним чинником при розрахунках шкоди, заподіяної земельним ресурсам, в цих методиках виступає площа порушених земель, яка і є об'єктом дешифрування. Головна перевага запропонованого підходу визначається оперативністю та достовірністю отримання даних на великих площах у порівнянні з наземними методами, що дозволяє швидко оцінювати екологічну ситуацію і приймати оптимальні управлінські рішення.

Запропонована методика і технологія на детальному рівні розглядається на прикладі найбільш скандально відомої території Олевського району Житомирщини — площі в районі селищ Обище—Шебедиха. Як вихідні матеріали використані супутникові дані Landsat 8 OLI/TIRS від 10.08.15 та

* E-mail: filin@casre.kiev.ua



Рис.1. Технологічна схема використання космічних даних для визначення нанесених збитків на територіях нелегального видобутку бурштину

06.04.16; SPOT-6 від 08.08.2015 та SPOT-7 від 28.03.16. (Супутникові дані SPOT-6,7 надані для наукових цілей компаніями Airbus Defence and Space (Франція) і TBIS (Україна)).

Результати досліджень

На першому регіональному етапі за допомогою аналізу космічних даних з просторовою розрізненістю 15–30 м на місцевості виявляють основні місця скупчення нелегального видобутку бурштину і порушених земель, визначають ділянки детальних робіт, формують базу для району (області) ГІС. Приклад результатів регіональних досліджень наведено на рис. 2, де представлено модель цифрової карти порушених територій Олевського району у масштабі 1:200 000.

За даними обробки багатоспектральної космічної зйомки з супутника Landsat 8 OLI/TIRS у межах Олевського району виявлено дві площі концентрації ділянок порушених земель: в районі селищ Обище–Шебедиха та обабіч селища Лопатичі. Загалом, ділянки порушених земель виявлені біля селищ Хочине, Перга, Юрове, Сущани та ін. Зауважимо, що на регіональному етапі, на якісному рівні визначаються тільки площі для подальших детальних робіт і не ведуться розрахунки.

На другому етапі, в якості об'єкта детальних досліджень, вибрана площа в районі селищ Обище–Шебедиха (рис. 3). В моніторинговому режимі за даними космічної зйомки високого просторового розрізнен-

ня — 1 м, оцінено зміни ландшафтно-ї обстановки за період з 08.08.2015 до 28.03.16 р. На даний момент кількість і якість орбітальних апаратів дозволяє моніторити будь яку точку України з періодом 1–2 доби. Все залежить від цілей і задач космічного моніторингу та фінансових можливостей. На нашу думку, для виявлення порушених земель, внаслідок нелегального видобутку бурштину, на регіональному рівні, оптимальна періодичність може складати 1 раз на 3 місяці. Зйомка з супутників Landsat (просторова розрізненість 15–30 м) і SENTINEL-2 (10–20 м) доступна безкоштовно на серверах Геологічної служби США (USGS) та Європейського космічного агентства (ESA). Тобто ціна і якість моніторингу залежить тільки від кваліфікації виконавця.

На детальному рівні моніторингові дослідження доцільно вести на окремих кризових ділянках. Періодичність визначається масштабами нелегального видобутку, та фінансовими можливостями зацікавлених сторін. Супутникові дані з високою просторовою розрізненістю (0.5–2 м) тільки комерційні і коштують від \$10 до \$30 за км² в залежності від набору спектральних каналів і детальності. Ці матеріали дозволяють відслідковувати порушення землі не тільки на відкритих ділянках, але навіть і під лісовим покривом, а також, враховуючи їх стереоскопічність, підраховувати об'єми виїнятої та перегорнутої породи для визначення масштабів подальшої рекультиваци.

Запропонована ГІС на детальному рівні (масштаби робіт від 1:2 500 до 1:10 000) дозволяє не тільки

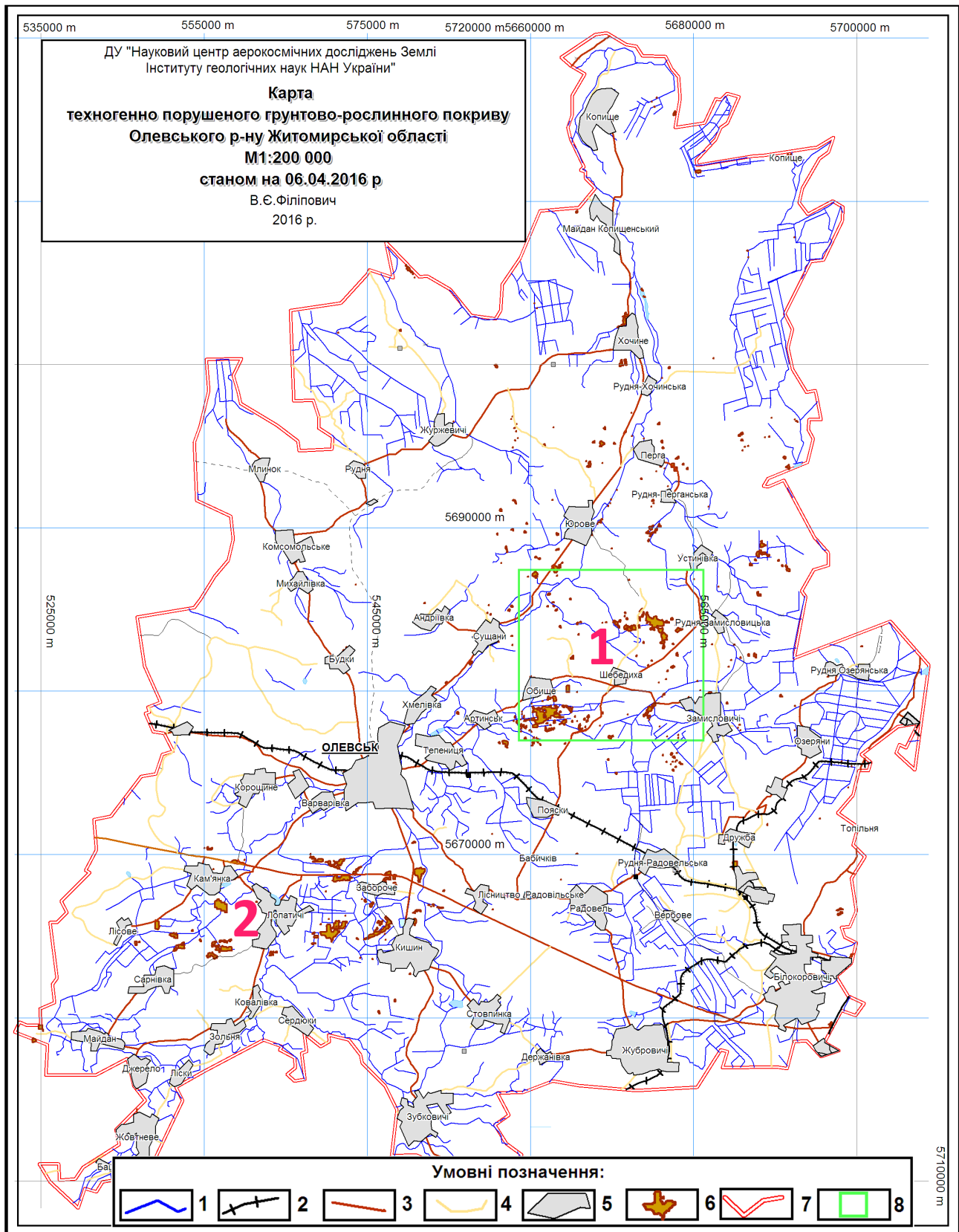


Рис. 2. Карта порушеного ґрунтового-рослинного покриву Олевського району Житомирської області станом на 06.04.2016 р. Складено на основі цифрової обробки супутникових даних Landsat 8 OLE/TIRS (США). Масштаб оригіналу М 1:200 000.

1 — гідромережа; 2 — залізниця; 3 — дороги з твердим покриттям; 4 — дороги ґрунтові; 5 — населені пункти; 6 — порушені землі; 7 — межі району; 8 — ділянка детальних досліджень. Червоні цифри на карті — площі концентрації нелегального видобутку бурштину і порушення земель: 1 — "Обище—Шебедиха", 2 — "Лопатичі"

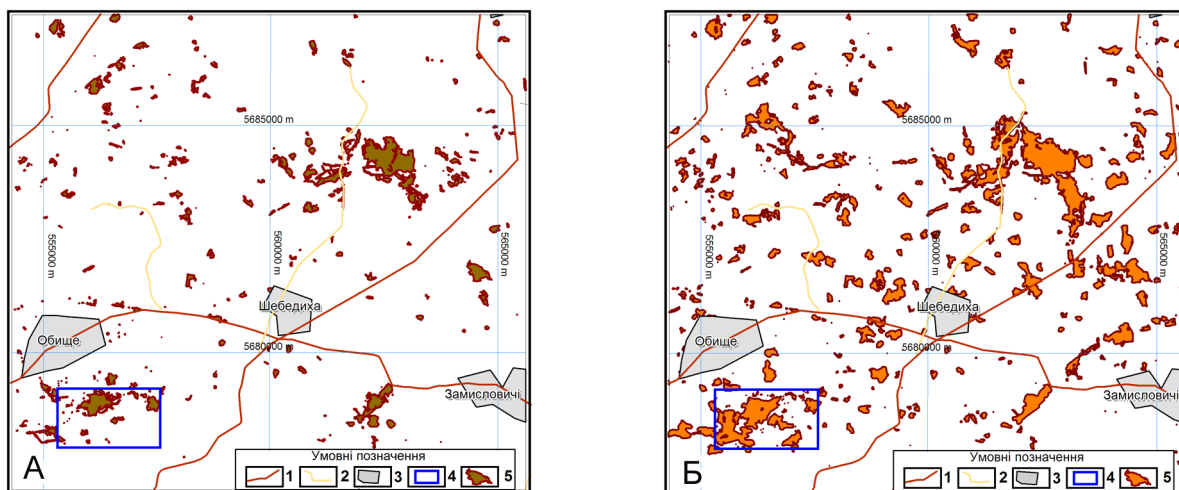


Рис. 3. Карти порушеного ґрунтово-рослинного покриву Олевського району Житомирської області на ділянці “Обище–Шебедиха”. Складено на основі цифрової обробки супутникових даних Spot 6, 7 (Франція). Масштаб оригіналу М 1:10 000. Площі концентрації нелегального видобутку бурштину і порушення земель: А — станом на 08.08.2015, Б — станом на 28.03.2016. 1 — дороги з твердим покриттям, 2 — дороги ґрунтові, 3 — населені пункти, 4 — тестова ділянка визначення заподіяної шкоди, 5 — порушені землі

картувати в напівавтоматичному режимі порушені землі, а й визначати у кількісному відношенні нанесені державі збитки. Розглянемо можливості застосування космічної зйомки для визначення збитків, внаслідок нелегального видобутку бурштину на тестовій ділянці на південь від села Обище (рис. 3, 4).

В результаті попиксельної класифікації різночасових космічних даних Spot 6 і 7, та аналізу розповсюдження виявлених ареалів порушених земель (рис. 4) отримана кількісна інформація, необхідна для розрахунків заподіяної шкоди (табл. 1)

Отже, для розрахунку заподіяної шкоди ми маємо основний показник — площу, але не маємо

інформації про цільове використання і власника землі. Вільно отримати цю інформацію наразі можливо на сервері Публічної кадастрової карти України в інтерактивному режимі [10]. Шукаємо необхідну інформацію і доповнюємо ГС шарами кадастрової карти (рис. 5).

Далі спільно аналізуємо розподіл площ, виявлених ареалів порушених земель відносно їх господарського призначення (рис. 6), знімаємо необхідну цифрову інформацію (табл. 2) і переходимо, власне до розрахунків заподіяної шкоди.

Для розрахунків використовуємо офіційно діючі методичні вказівки Міністерства екології та

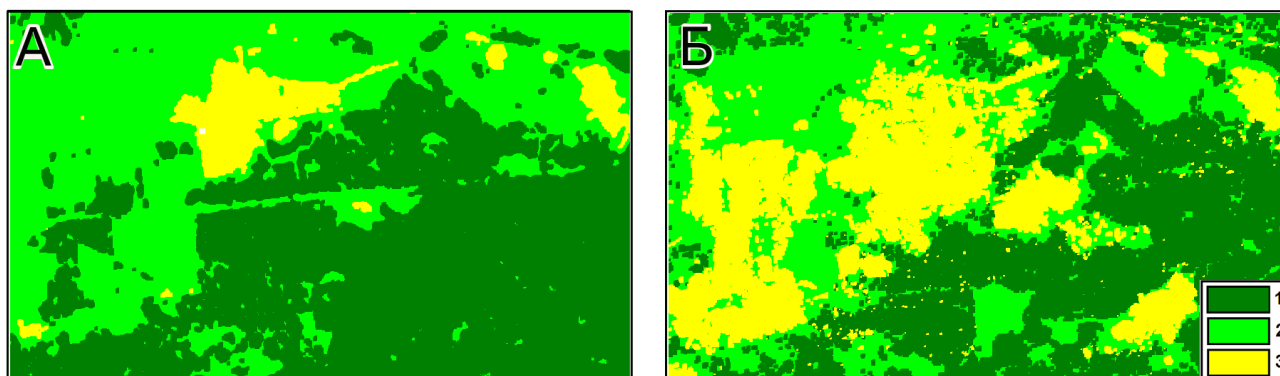


Рис. 4. Виявлення ареалів порушених земель на основі класифікації з навчанням матеріалів багатозональних супутникових зйомок та векторизація отриманих даних: А — станом на 08.08.2015, Б — станом на 28.03.2016. Класи земної поверхні: 1 — хвойні та змішані ліси, 2 — травостій, городи, чагарники, 3 — порушені землі

Таблиця 1.

Цифрова інформація, отримана в результаті аналізу космічних даних

Площа порушених земель на 08.08.2015	Площа порушених земель на 28.03.2016	Загальний приріст порушених земель	Загальна площа дослідної ділянки
1642 га	6483 га	48.1 га	295.58 га

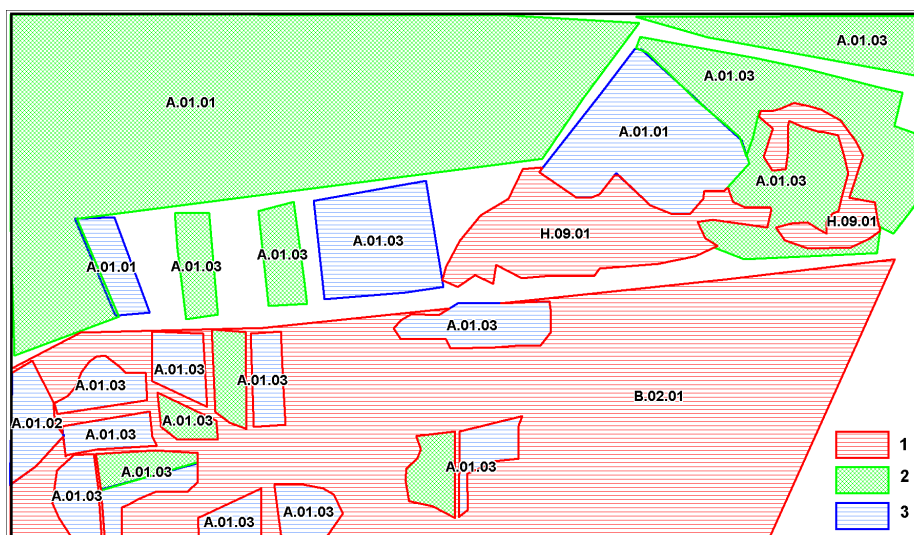


Рис. 5. Розподіл землі за цільовим призначенням та формою власності у межах дослідної ділянки “Обище” за даними Публічної кадастрової карти України.

1 — площі державної власності на землю; 2 — площі приватної власності на землю; 3 — площі з невизначеним статусом.

Цільове призначення землі: A.01.01 — Для ведення товарного с/г виробництва. A.01.02 — Для ведення фермерського с/г господарства. A.01.03 — Для ведення особистого селянського господарства. B.02.01 — Для будівництва та обслуговування житлового будинку, господарських будівель і споруд (присадибна ділянка). H.09.01 — Для ведення лісового господарства та пов'язаних з ним послуг

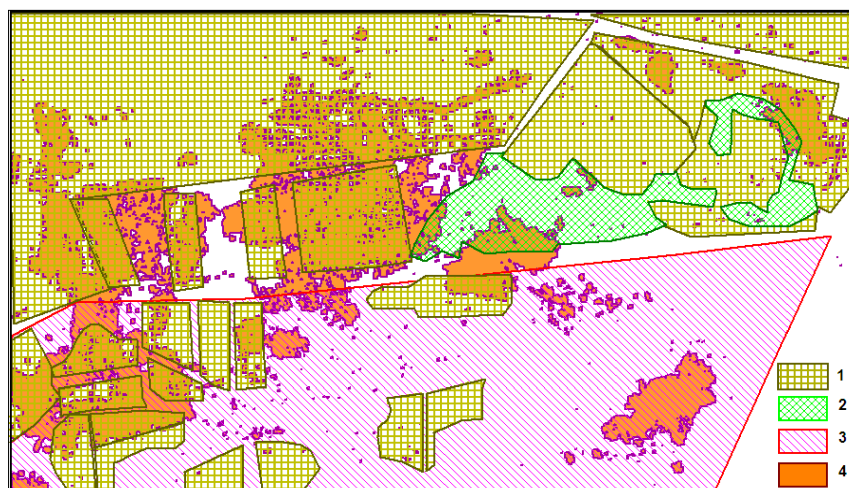


Рис. 6. Порушені землі сільськогосподарського і лісгосподарського призначення та у межах площ, що відведені під житлове і присадибне будівництво за даними Публічної кадастрової карти України і аналізу супутникових даних.

1 — площі сільськогосподарського призначення; 2 — площі лісгосподарського призначення; 3 — площі для житлового та присадибного будівництва і обслуговування; 4 — площі порушених земель внаслідок нелегального видобутку бурштину

Таблиця 2.

Цифрова інформація отримана з побудованих векторних карт

Загальна площа порушених земель на 28.03.2016	Площі порушених земель внаслідок нелегального видобутку бурштину (га)				
	в тому числі :				
	Землі сільськогосподарського призначення		Землі лісгосподарського призначення	Землі житлового та господарського будівництва	Землі, поза межами кадастрового поділу
	Приватна власність	Площі з невизначеним статусом	Державна власність		
64.83 га	23.39	16.40	3.01	11.19	11.19
Разом: 64.83 га	39.79		25.04		

природних ресурсів України і прийнятими Кабінетом Міністрів України [4–6] з доповненнями авторів [9].

Об'єми цієї статті не дозволяють навести повну технологію підрахунків з використанням всіх формул, показників й коефіцієнтів, наведених в офіційних методиках і додатках до них. Зазначимо, що запропонована модернізація методики і технології оцінки шкоди дозволила оперативно визначити розмір заподіяної шкоди і розміри відшкодування збитків, нанесених державі у наступних напрямках порушення законодавства:

1. Самовільне користування надрами — 617 700 грн. (64.83 га).
2. Самовільне зайняття земельних ділянок (сільськогосподарські землі) — 26 678 грн. (39.79 га).
3. Самовільне зайняття земельних ділянок (лісогосподарські землі) — 12 802 грн. (3.01 га).
4. Самовільне зайняття земельних ділянок (землі житлової та громадської забудови) — 90 375 грн. (11.19 га).
5. Використання земельних ділянок не за цільовим призначенням — 366 510 грн. (землі с/г 39.79 га, л/г 3.01 га, ЖЗ 11.19 га).
6. Зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу — 776 758 грн. (землі с/г 39.79 га, землі не с/г 25.04 га).

Загальний розмір шкоди, заподіяної внаслідок перелічених вище порушень законодавства склав: 4 266 286 грн. і це тільки на тестовій ділянці розміром 295.6 га, де за неповних півроку, з серпня 2015 р. по кінець березня 2016 р. (без зимових місяців) приріст порушених земель сільськогосподарського і лісового призначення та для житлового будівництва і присадибного господарства склав 48.4 га (див. табл.1).

Таким чином, загальні мінімальні збитки, що нанесено державі тільки на цій ділянці, станом на 28.03.16 р., за нашими підрахунками, оцінюються у 4.3 млн. грн., і це без врахування вартості видобутого бурштину, шкоди, нанесеної водному і лісовому господарству. У масштабах Олевського району, де подібних ділянок, за супутниковими даними виявлено біля десятка, наслідки катастрофічні.

Висновки

Наведена методика аналізу космічних даних дозволяє оперативно і з високою ймовірністю виявляти ділянки нелегального видобутку бурштину, як для застосування запобіжних дій, так і для оцінки економічних та екологічних збитків, завданих природному середовищу. Запропонована технологія має універсальний характер і може використовуватися при моніторингу дотримання природоохоронного законодавства на інших територіях відкритого видобутку корисних копалин.

Література

1. Тимочко Т. В. Екологічні наслідки видобування бурштину та шляхи їхнього подолання. / Т. В. Тимочко // Інформаційні матеріали до засідання круглого столу “Рекультивация територій, порушених в наслідок видобування бурштину” 4 вересня 2015 року м. Рівне. Всеукраїнська екологічна ліга. м. Рівне. — 2015. — С. 4–5.
2. Надточій П. П. Екологічні наслідки видобування бурштину на Житомирщині (практичний poradnik) / П. П. Надточій, Т. М. Мислива // Житомир: Видавництво ЖНАЕУ. — 2015. — 50 с.
3. Надточій П. П. Незаконне видобування бурштину в Житомирській області: екологічні аспекти. / П. П. Надточій, Т. М. Мислива // Проблеми видобування бурштину в Україні та шляхи їх розв'язання. Бібліотека Всеукраїнської екологічної ліги, Серія “Стан навколишнього середовища”. Вересень. — 2015. — № 9 (141). — К.: — 2015. — С. 6–10.
4. Методика визначення розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок самовільного користування надрами затверджена наказом Міністерства екології та природних ресурсів України №303 від 29 серпня 2011 року [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://dei.gov.ua/menyu-4/2012-01-22-11-28-44.html>. — Назва з екрану.
5. Методика визначення розміру шкоди, заподіяної внаслідок самовільного зайняття земельних ділянок, використання земельних ділянок не за цільовим призначенням, зняття ґрунтового покриву (родючого шару ґрунту) без спеціального дозволу зі змінами і доповненнями в редакції від 10 жовтня 2012 р. затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 25 липня 2007 року № 963. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://dei.gov.ua/menyu-4/2012-01-22-11-28-44.html>. — Назва з екрану.
6. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства затверджена наказом Мінприроди України №171 від 27 жовтня 1997 р. у редакції наказу №149 від 4 квітня 2007 року [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://dei.gov.ua/menyu-4/2012-01-22-11-28-44.html>. — Назва з екрану.
7. Філіпович В. Є. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Є. Філіпович, Г. Б. Крилова, М. С. Лубський // Збірник наукових праць 14 Міжнародної науково-практичної конференції „Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях” 5–9 жовтня 2015р. Київ, Пуца-Водиця. — 2015. — С. 189–198.
8. Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину / В. Є. Філіпович // Український журнал дистанційного зондування Землі, 6 (2015) — С. 4–7 [Електронний ресурс] — Режим дос-

тупу <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/52/70>. — Назва з екрану.

9. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків заподіяних державі за матеріалами багатозональної космічної зйомки / В. Є. Філіпович // Екологічна безпека та природокористування. — 2015. — Вип. 20 (4). — С. 71–78.
10. Публічна кадастрова карта України [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.map.land.gov.ua/kadastrova-karta>. — Назва з екрану.

МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ УЩЕРБА, НАНЕСЕННОГО УКРАИНСКОМУ ГОСУДАРСТВУ В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕЛЕГАЛЬНОЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ

В. Е. Филиппович, Р. Н. Шевчук

На основе спутникового мониторинга установлено, что за неполных 5 месяцев на опытном участке размером 295,6 га прирост нарушенных земель, в результате нелегальной добычи, составил 48,4 га, а минимальные убытки от повреждения и загрязнения только земельных ресурсов составил 4,3 млн. гривен. Предложенная методика имеет универсальный характер и может использоваться при мониторинге соблюдения природоохранного законодательства и принятия управленческих решений на территориях открытой добычи полезных ископаемых.

Ключевые слова: янтарь, нелегальная добыча, многозональная космическая съемка, экологический мониторинг, оценка ущерба

THE METHODOLOGY AND TECHNOLOGY ASSESSMENT OF DAMAGE CAUSED BY UKRAINIAN GOVERNMENT AS A RESULT OF ILLEGAL EXTRACTION OF AMBER

V. E. Filipovich & R. M. Shevchuk

The disturbed land area increasing of 48.4 ha for 5 months was detected by satellite monitoring as a result of illegal mining within 295.6 ha site. The minimum losses caused by land deterioration and contamination only are estimated at 4.3 million UAH. The proposed technology is unified for nature protection monitoring as well as for decision-making support within the open mining area of other type too.

Keywords: amber, illegal mining, multispectral satellite imaging, environmental monitoring, losses assessment

УДК 551.24:553.981(262.5-17)

Спутниковые методы при изучении глубинных разломов и влияние последних на нефтегазоносность (на примере Днепроовско-Донецкой впадины)

А. И. Воробьев *, В. И. Лялько, В. С. Куриленко, Т. А. Мельниченко

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

Выполнен анализ актуальности изучения глубинных разломов (ГР) и возможностей спутников низкого и среднего пространственного разрешения для решения задач их выделения, а также оценка влияния ГР на нефтегазоносность структур Днепроовско-Донецкой впадины.

Ключевые слова: характеристики спутников, системы продольных и поперечных глубинных разломов, тектоническое строение Днепроовско-Донецкой впадины, статистическая связь глубинных разломов с нефтегазоносностью

© А. И. Воробьев, В. И. Лялько, В. С. Куриленко, Т. А. Мельниченко. 2016

Глубинные разломы разбивают земную кору на блоки, часто имеют повышенную проницаемость и поэтому являются подводящими каналами нефтегазовых флюидов из глубоких горизонтов к коллекторам и ловушкам в более верхних слоях Земли

Образование разломов происходило в периоды тектонических активизаций, с которыми связано формирование антиклинальных и других типов ловушек нефти и газа. Известно [1, 2], что в зонах глубинных разломов в несколько раз увеличивается площадь и амплитуда структур, а также емкости коллекторов, вдоль разломов в осадочных отложениях формируются зоны повышенной трещиноватости, системы микро- и макротрещин, что существенно влияет на распределение месторождений нефти и газа.

Исследованиям влияния разломной тектоники на нефтегазоносность долгое время не уделялось достаточно внимания и ограничивалось рассмотрением обычных дизъюнктивных нарушений, которые могут способствовать локализации скоплений углеводородов (УВ) или могут приводить к их разрушению.

Существует много методов изучения глубинных разломов. Среди них одними из наиболее эффективных являются геофизические методы и в первую очередь сейморазведка. Однако эти методы очень дорогостоящие. В то же время применение спутниковых методов, особенно в пределах недостаточно изученных площадей, может быть целесообразным.

Существенные результаты по выделению и оценке роли глубинных разломов в Днепроовско-Донецкой впадине (ДДВ) получены украинскими исследователями [1, 2, 6]. В то же время до сих пор существует много проблем, которые остаются не-

решенными. Среди них вопросы конфигурации разломов, определения их параметров (глубинность, проницаемость для геофлюидов и химический состав последних), а также установление связи глубинных разломов с положением месторождений нефти и газ на разных площадях ДДВ.

Разработка новых космических технологий и спутников могут быть основой для более широкого и эффективного применения спутниковых методов для решения задач поиска новых месторождений нефти и газа в ДДВ. Важной предпосылкой для применения спутниковых методов при выделении зон разломов является их проявление в рельефе поверхности Земли, что позволяет использовать при дешифрировании космических снимков Земли разработки геоморфологии.

Для изучения зон глубинных разломов могут быть применены материалы съемок Земли космическими аппаратами, дающих изображения различного пространственного и спектрального разрешения. Для решения региональных задач можно использовать материалы метеорологических спутников AQUA и TERRA. На них установлен сенсор MODIS с разрешением 250, 500 и 1000 м. В данной статье использованы два КС, зарегистрированные этим сенсором в тепловом диапазоне с разрешением 1000 м и могут использоваться для выделения наиболее крупных элементов зон разломов, а также для их мониторинга в разное время года.

При детальном изучении зон разломов могут быть использованы материалы съемок спутниками ASTER, LANDSAT, Sentinel-2 и Shuttle (SRTM), некоторые характеристики которых приводятся далее. Среди них особое значение для построения карт рельефа и выделения зон разломов имеют космические снимки Земли, сделанные радиолокационным спутником Shuttle.

*E-mail: vorobiev@casre.kiev.ua

Съёмочная аппаратура спутника LANDSAT-8 имеет 11 каналов. Соответствующие им диапазоны длин волн такие: 1 — 0.433–0.453 мкм, 2 — 0.450–0.515 мкм, 3 — 0.525–0.600 мкм, 4 — 0.630–0.680 мкм, 5 — 0.845–0.885 мкм, 6 — 1.560–1.660 мкм, 7 — 2.100–2.300 мкм, 8 — 0.500–0.680 мкм, 9 — 1.360–1.390 мкм, 10 — 10.30–11.30 мкм, 11 — 11.50–12.50 мкм. Каналы имеют такое пространственное разрешение: с 1-го по 7-й канал — 9–30 м, канал 8 (панхром) — 15 м, каналы 10-й и 11-й — 100 м. Полоса покрытия одним снимком LANDSAT-8 составляет 185 × 185 км.

Спутник Sentinel-2 может быть использован для решения более детальных задач выделения разломных зон. Ширина полосы съёмки этого спутника составляет 290 км. Периодичность съёмки в средних широтах Земли составляет один раз через 2–3 суток. Технические характеристики съёмочной аппаратуры спутника ASTER на части каналов имеют близкие характеристики со спутниками LANDSAT-8 и Sentinel-2 по пространственному разрешению (от 15 до 90 м). По набору длин волн спутник ASTER имеет больший набор каналов в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах. Возможно отклонение

оси съёмки поперёк направления полёта во всех спектральных зонах до ± 106 км для теплового и среднего инфракрасного диапазона и до ± 314 км для видимого и ближнего инфракрасного диапазона. Это позволяет обеспечить покрытие снимками как минимум один раз в 16 дней на всех 14 каналах и один раз в пять дней на трёх каналах видимого и ближнего инфракрасного диапазона.

Использование материалов нескольких спутников, имеющих близкое пространственное разрешение, позволяет повысить число покрытия съёмками площадей, представляющих интерес с точки зрения поисков месторождений нефти и газа.

На рис. 1 и 2 приводятся космические снимки (КС), снятые перед землетрясением (ЗТР), которое произошло в пределах ДДВ 14 мая 2010 года [5] (на рисунках положение эпицентра этого землетрясения показано красным кружком). Это редкое явление в пределах этого региона, поэтому имеет важное научное значение для выявления на материалах спутниковых съёмок аномалий облачности, которые используют для выделения зон активизации глубинных разломов перед сильными землетрясе-

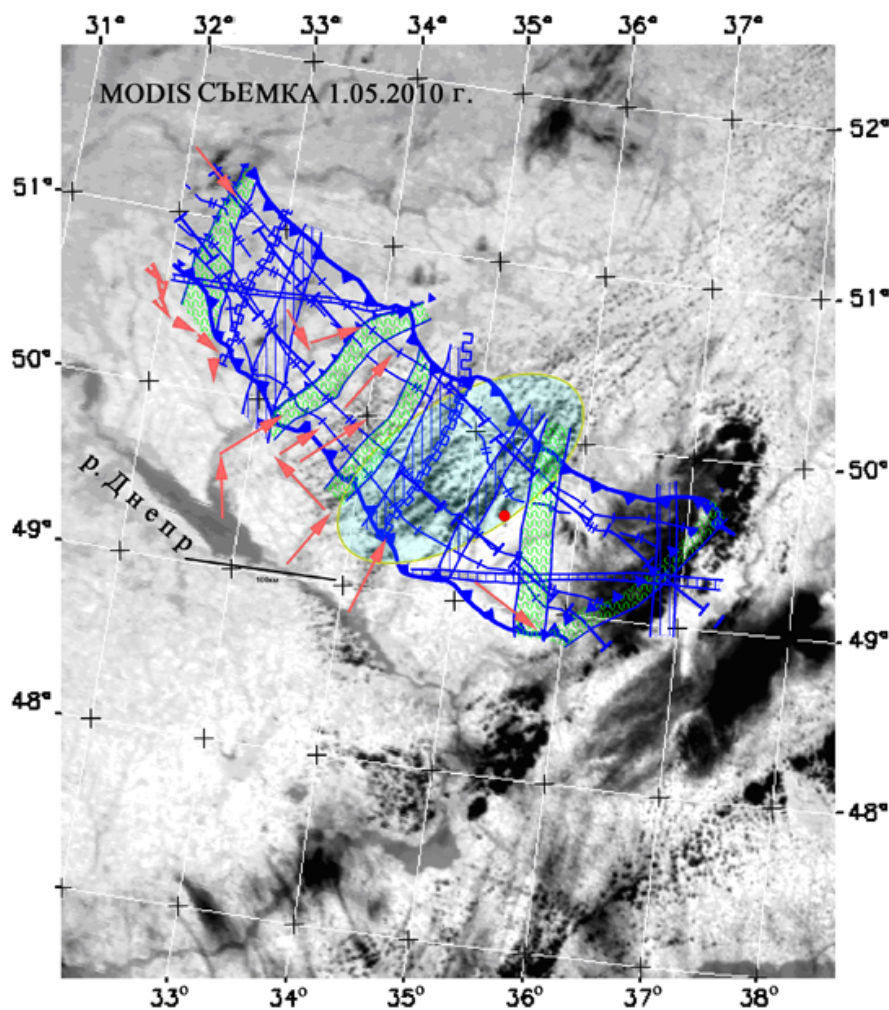


Рис. 1. Космический снимок ДДВ, полученный сенсором MODIS 1 мая 2010 года, с нанесенными на него глубинными разломами и другими тектоническими элементами региона [2]

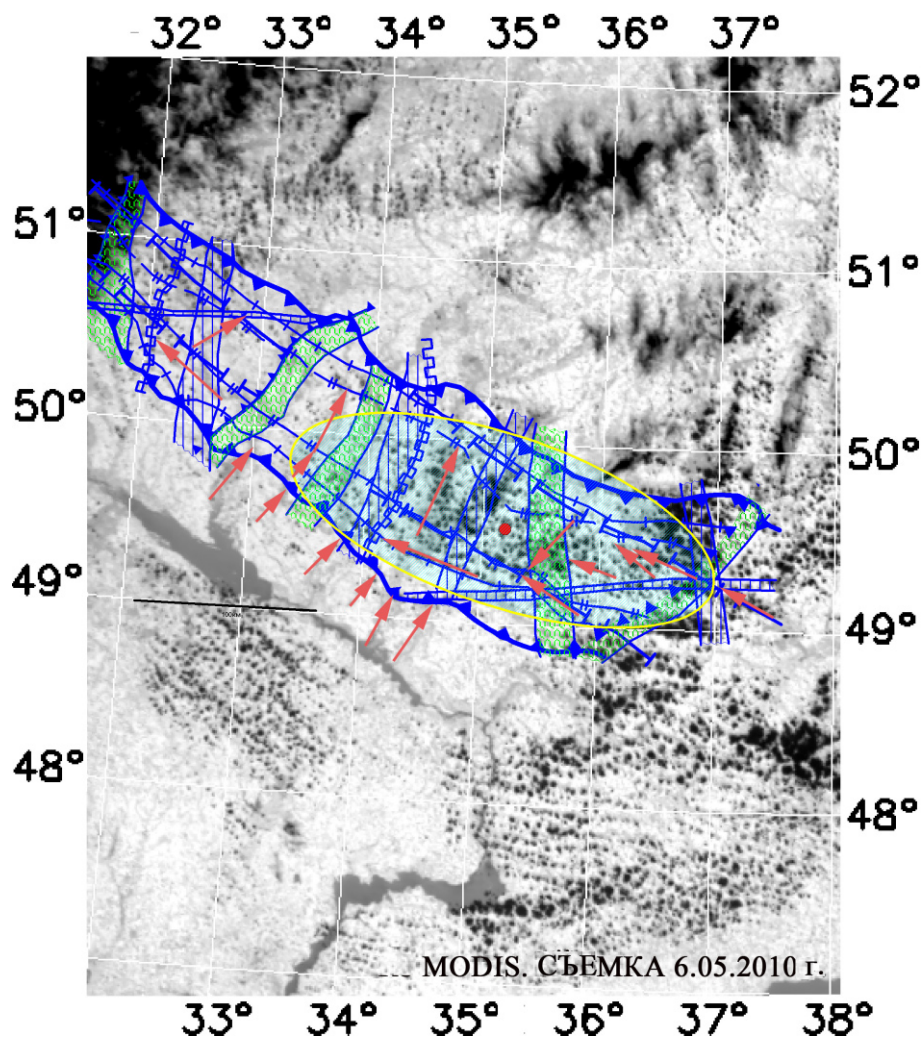


Рис. 2. Космический снимок ДДВ, полученный сенсором MODIS перед землетрясением 14 мая 2010 года (съемка 6.05.2010 г.) с вынесенными на него глубинными разломами и другими тектоническими элементами региона [2]

ниями с магнитудами 5–6 баллов и более по шкале Рихтера.

На рис. 1 приведен КС, снятый 1 мая, т. е. за 13 дней до землетрясения. На КС синим цветом показано положение продольных и поперечных по отношению к простиранию ДДВ глубинных разломов, а также других элементов тектоники этого региона, в том числе поперечных депрессий (залиты зеленым цветом).

На КС рис. 1 на северо-запад от эпицентра будущего ЗТР четко выделяется поперечная к простиранию ДДВ группа аномалий облачности.

Отрезки линий со стрелками, выделенные на рис. 1 красным цветом, имеют в основном поперечное простирание к ДДВ, но имеются и продольные фрагменты. Выделенные отрезки линий связаны в основном с системой речной сети, направления течений в которой зависят от направлений простирания глубинных разломов и тектоники региона.

На рис. 2 приведен космический снимок ДДВ, полученный сенсором MODIS 6 мая 2010 года (т. е. за 8 дней перед землетрясением 14 мая 2010 года) с

нанесенными на него глубинными разломами и другими тектоническими элементами региона [2, 5].

На КС, приведенном на рис. 2, красные стрелки указывают на преимущественно поперечное к простиранию ДДВ направление русел рек, отражающих особенности тектоники региона.

На рис. 3 приведена карта рельефа участка Ахтырского нефтегазопромыслового района составленная по данным SRTM (автор карты О. В. Титаренко). При проведении вычислений была использована матрица SRTM, полученная спутником Shuttle. Анализ этой карты позволяет установить связь между вертикальным расчленением рельефа и тектоническими движениями на этом участке ДДВ. Масштабная шкала рельефа показана разными цветами в правой части рисунка.

На рис. 3 четко выделяются зоны относительно понижения (темно-синего цвета) и повышения рельефа (светлого тона), которые могут интерпретироваться как проявления зон глубинных разломов.

Днепровско-Донецкий палеорифт (ДДП), зало-

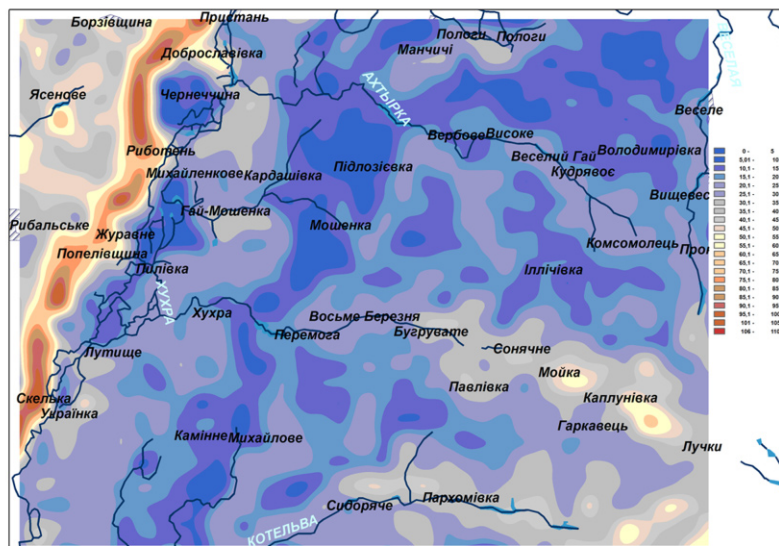


Рис. 3. Карта рельефа участка Ахтырского нефтегазопромыслового района составленная по данным SRTM

женный в рифейскую эпоху (байкальская фаза тектогенеза), получивший мощное развитие в позднедевонско-ранне-каменноугольное время (герцинская фаза тектогенеза), переживший частичную инверсию в триасе (Донбасс, киммерийская фаза складчатости) и находящаяся в синеклизной стадии развития Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ).

По времени заложения и характеру проявления в осадочной толще и кристаллическом фундаменте ДДВ выделяют три типа дислокаций [2]:

1) дорифтовые, развивающиеся обычно снизу вверх разломы архейско-протерозойского заложения;

2) рифтовые синсводовые, развивающиеся сверху вниз позднедевонские разломы;

3) сбросовые послерифтовые каменноугольно-меловые разрывы. Все они имеют различную форму и ориентировку, протяженность и характер проявления в кристаллическом фундаменте и в осадочном чехле [2].

Дорифтовые разломы — это обычно системы параллельных разноранговых нарушений, занимающих широкую полосу (25–30 км), проявляющиеся в верхней мантии и литосфере. Их выделяют по комплексу аэрокосмических, геолого-геофизических, геоморфологических и структурно-седиментационных признаков. Разломы характеризуются сложным строением, повышенной трещиноватостью, смещениями отражающих и преломляющих границ, гравитационными и магнитными аномалиями, а также интенсивным тепловым потоком, магматическими проявлениями и др.

Выявление и трассирование глубинных разломов было не всегда однозначно. Например, В. К. Гавриш и др. выделили в ДДВ 8 поперечных разломов, Б. П. Стерлин — только 5, и только в трех случаях разломы этих исследователей совпадают. Это сви-

детельствует о необходимости дальнейшего изучения глубинных разломов ДДВ.

На карте рис. 4 показаны 11 глубинных разломов [2], из которых межблоковые мантийные протерозойского заложения и поздней (позднедевонско-мезозойской) активизации — Болтышско-Обоянский (БО) и Томаковско-Купянский (ТК); межблоковые древнего (архей-протерозойского) заложения — Смеловско-Холмский (СХ), Криворожско-Комаричский (КК) и Орехово-Харьковский (ОХ); неясного генезиса и проблематичного выделения — Ингулецко-Брянский (ИБ), Овручско-Лебединский (ОЛ), Верховцевско-Лебединский (ВЛ), Баштанско-Белгородский (ББ), Жмеринско-Старобельский (ЖС) и Мангусско-Губкинский (МГ).

К дорифтовым относятся разломы погребенного так называемого “рифейского” грабена. Этот грабен, прослеженный методами ГСЗ–КМПВ, имеет северо-западное простирание и представляет собой узкую (шириной не более 30 км в центральной части ДДВ и до 50–60 км под Донбассом) глубокую впадину, заполненную рифей-вендскими отложениями мощностью более 10 км [4].

Рифтовые разломы, выделенные по комплексу геолого-геофизических, аэрокосмических и других данных, в основном позднедевонского заложения. Различают разломы краевые и внутририфтовые. Краевые разломы Барановичско-Астраханский (БА) и Припятско-Маньчский (ПМ) являются рифтоформирующими и ограничивают ДДП с севера и юга соответственно. Краевые разломы трассируются уверенно и надежно почти повсеместно, внутририфтовые обычно выделяются по КС неоднозначно. Поэтому одной из важных задач, которые необходимо решить в ближайшие годы — разработка методики выделения внутририфтовых разломов по

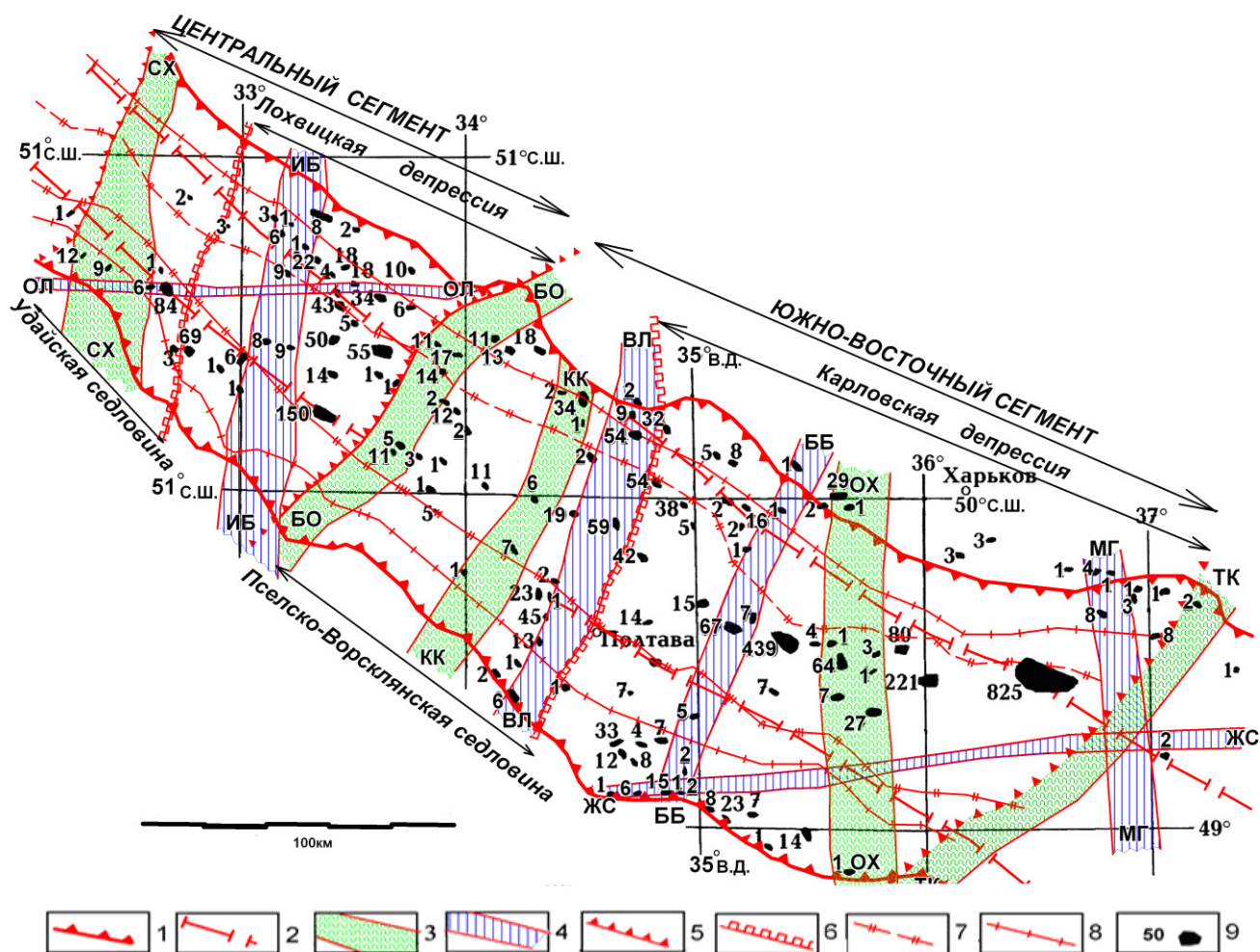


Рис. 4. Тектоническая схема ДДВ в пределах центрального и юго-восточного нефтегазоносных сегментов [2].

1 — краевые разломы ДДВ по верхнедевонским и карбонным отложениям; 2 — краевые разломы (рифейского грабена); 3 — дорифтовые (архейско-протерозойские) межблоковые глубинные разломы (СХ, БО, КК, ОХ, ТК); 4 — глубинные разломы неясного генезиса и проблемного выделения (ОЛ, ИБ, ВЛ, ББ, ЖС, МГ); 5 — границы между сегментами Днепровско-Донецкой впадины; 6 — границы между седловинами и депрессиями внутри сегментов; 7 — границы осевой зоны ДДВ; 8 — границы между приосевыми и приборотовыми зонами ДДВ; 9 — месторождения нефти и газа с начальными извлекаемыми запасами в нефтяном эквиваленте по данным В. В. Гордиенко [3]

комплексу геолого-геофизических данных и материалов спутниковых съемок ДДВ.

На рис. 4 приведены карта систем глубинных разломов разного возраста и глубины заложения с использованием результатов исследований, приведенных в работе [2], а также месторождения нефти и газа с начальными извлекаемыми запасами в нефтяном эквиваленте по данным В. В. Гордиенко [3].

Среди послерифтовых разрывов различают региональные и синскладчатые. Региональные разрывы внутричехольные и являются определяющими для небольших структур, отражаясь местами в поверхности кристаллического фундамента или в гравитационном поле в виде ступеней и линейных остаточных аномалий. На сейсмических временных разрезах в местах разрывов обычно наблюдается сложная волновая картина, вызванная перерывами в корреляции отражений или наличием дифрагированных волн. Особенно это относится к разрывам

небольшой амплитуды (до 50–100 м). Поэтому сведения о наличии региональных разрывов должны подтверждаться данными детальной сейсморазведки и бурения.

К послерифтовым синскладчатым разрывам относятся разрывы мелкого заложения внутри осадочного чехла. Среди них многочисленные и разнообразные разрывы различной ориентировки, образовавшиеся в сводах и на крыльях складок и соляных куполов. Синскладчатые разрывы включают: осложняющие солянокупольные структуры с предкаменноугольным, предверхнепермским и более молодыми уровнями подъема соляных масс; осложняющие крупные выступы, моноклинали, блоки с малоамплитудными поднятиями и другими структурами без влияния течения соляных масс. Среди разрывов, по времени их образования, различают: предпоздневизейские, предбашкирские, предраннепермские,

предтриасовые, предъюрские, предмеловые и предпалеогеновые.

Тектоническое районирование ДДВ. В основу тектонического районирования ДДВ положена система дорифтовых глубинных разломов, секущих палеорифт поперек его простирания, и рифтовых продольных (рис. 4). Четыре поперечных разлома — Тетеревско-Брянский, СХ, БО и КТ делят ДДВ на три сегмента: северо-западный (Деснянский), центральный (Удайско-Сульский) и южно-восточный (Пселско-Орельский). Каждый сегмент делится глубинными разломами Тикичско-Гомельским (за пределами описываемой территории), ИБ и ВЛ на седловины (с запада на восток: Брагинско-Лоевскую, Удайскую и Пселско-Ворсклянскую) и депрессии (в том же направлении: Нежинскую, Лохвицкую и Карловскую). В результате сформировалась сложная ступенчатая структура с общим погружением фундамента с северо-запада на юго-восток [2].

При продольном районировании выделены зоны осевая, северная и южная приосевые, северная и южная прибортовые, границы которых в основном совпадают с прибортовыми и внутририфтовыми разломами и приосевыми разломами подкорового и внутрикорового заложения (по [2]). Составными частями ДДВ являются также бортовые зоны палеорифта: Северный борт и Южный борт.

Нефтегазоносность тектонических зон. Нефтегазоносными являются центральный и юго-восточный сегменты. В пределах исследуемого региона согласно Атласу [1] выявлено 184 месторождения с начальными извлекаемыми запасами 2648,6 млн. *т* УВ в нефтяном эквиваленте, что составляет 89,8% от количества месторождений и 77,7% от общих запасов ДДВ.

В таблице приведены данные о площадях поперечных и продольных зон, распределении месторождений и начальных извлекаемых запасах УВ в их пределах над поперечными разломами и вне разломов, а также значения плотности запасов в нефтяном эквиваленте (н. э.) (тыс. *т* н. э. / км^2).

Анализ данных таблицы показывает, что при средней по региону плотности запасов 54,6 тыс. *т* / км^2 ее значение вне разломов в 2,8 раза выше плотности запасов над разломами, что создает впечатление о дренающей роли последних. Наиболее высокая плотность запасов осевой зоны, превышающая средний уровень в 1,7 раза, а на площадях вне разломов — в 2,3 раза. Однако, здесь сказывается влияние крупнейших и гигантских месторождений с запасами более 100 млн т н. э. Таких месторождений в ДДВ пять: Шебелинское (с запасами 658,3 млн. *т* н. э.), Яблунское (117,6 млн. *т* н. э.), Западно-Крестиченское (348,4 млн. *т* н. э.), Ефремовское (112,6 млн. *т* н. э.) и Глинско-Розбышевское (112,3 млн. *т* н. э.), т.е. всего 2,7% от общего числа месторождений, а по запасам на их долю приходится 50.

Вероятность открытия новых месторождений с запасами более 100 млн. *т* при достигнутой степени изученности ДДВ невысокая, во всяком случае до глубин 5–6 км. Проанализируем значения плотности запасов, исключив из расчетов запасы упомянутых выше гигантских пяти месторождений. При этом среднее значение плотности запасов упало до 26,8 тыс. *т* / км^2 , а на участках вне разломов до 25,5 тыс. *т* / км^2 , т.е. получаются сопоставимые значения запасов в разных зонах ДДВ.

При продольном районировании максимальные значения плотности запасов наблюдаются в осевой и северной приосевой зонах, превышающие средний уровень в 1,7 и 1,6 раза. При исключении из расчетов запасов пяти упомянутых месторождений средний уровень плотности запасов снизился до 26,8 тыс. *т* / км^2 , а в осевой и северной приосевой зонах — до 37,0 и 33,2 тыс. *т* / км^2 и их лидирующее положение сохраняется.

Сторонники абиогенного (мантийного) происхождения нефти считают связь месторождений УВ с глубинными разломами очевидной и не нуждающейся в аргументации. Иная точка зрения у сторонников органического происхождения УВ. Например, Б. П. Кабышев считал, что приуроченность скоплений УВ к зонам глубинных разломов обусловлена влиянием структурного фактора. В зонах разломов происходит более активное складкообразование, что ведет к увеличению числа и размеров ловушек и накоплению в них большего количества УВ по сравнению со смежными площадями.

По данным [2] поперечные дорифейские разломы определяли геотектоническое развитие ДДП и фазовый состав УВ, а продольные рифтоформирующие разломы влияли на распределение УВ и формирование месторождений.

Следует учитывать, что одним из важных факторов формирования геометрии осадочного чехла ДДВ и распределения в ней УВ является пластическое течение верхнедевонских солей — галокинез. Галогенная толща маскирует глубинные разломы, не дает им четко проявляться на дневной поверхности, стоит на пути вертикальной миграции флюидных потоков. Этим мы объясняем неоднозначность выделения и трассирования разломов. Четкая связь между расположением месторождений УВ и продольными разломами наблюдается лишь на коротком (150 км) участке ПМ разлома на Зачепиловско-Левенцовском валу от Лиманского до Левенцовского месторождений Руденковско-Пролетарского нефтегазоносного района.

Авторы статьи считают, что выводы по перспективности площадей в пределах и вне зон разломов на основе статистических оценок нуждаются в проверке с учетом соляной тектоники, гидрогеологического и геохимического районирования площа-

Распределение месторождений и начальных извлекаемых запасов УВ по тектоническим зонам ДДВ

Тектонические зоны (по В. К. Гавришу)	ВСЕГО				в том числе							
					над разломами				вне разломов			
	Площадь, тыс. км ² .	Количество место- рождений	Запасы, млн. т. н. э.	Плотность запасов, тыс. т/км ²	Площадь, тыс. км ² .	Количество место- рождений	Запасы, млн. т. н. э.	Плотность запасов, тыс. т/км ²	Площадь, тыс. км ² .	Количество место- рождений	Запасы, млн. т. н. э.	Плотность запасов, тыс. т/км ²
Поперечные зоны												
Удайская седловина	390	18	86.7	22.2	157	4	77.5	49.4	23.3	14	9.2	3.9
Лохвицкая депрессия	8.41	45	508.7	60.5	2.63	14	80.5	30.6	5.78	31	428.2	74.1
Центральный сегмент	12.31	63	595.4	48.4	4.20	18	158.0	37.6	8.11	45	437.4	53.9
Пселско-Ворсклянская седловина	11.06	42	357.2	32.3	6.35	24	189.7	29.9	4.71	18	167.5	35.6
Карловская депрессия	25.13	79	1696.0	67.5	6.68	24	154.2	23.1	18.45	55	1541.8	83.6
Южно-Восточный сегмент	36.19	121	2053.2	56.7	13.03	48	343.9	26.4	23.16	73	1709.3	73.8
В том числе:												
по седловинам	14.96	60	443.9	29.7	7.92	28	267.2	33.7	7.04	32	176.7	25.1
по депрессиям	33.54	124	2204.6	65.7	9.31	38	234.17	25.2	24.23	86	1970.0	81.3
ИТОГО:	48.50	184	2648.6	54.6	17.23	66	501.9	29.1	31.27	118	2146.7	68.6
Продольные зоны												
Северный борт	7.74	12	35.6	4.6	2.26	7	18.3	8.1	5.48	5	17.3	3.2
Северная прибортовая	5.47	25	125.7	23.0	1.72	8	60.2	35.0	3.75	17	65.5	17.5
Северная приосевая	6.12	36	532.2	87.0	2.18	12	107.3	49.2	3.24	24	424.9	107.8
Осевая	17.55	61	1670.1	95.2	6.15	20	211.6	34.4	11.40	41	1458.5	127.9
Южная приосевая	6.29	22	152.7	24.3	2.61	6	67.9	26.0	3.68	16	84.8	23.0
Южная прибортовая	5.33	28	132.3	24.8	2.31	13	36.6	15.8	3.02	15	95.7	31.7

дей, классификации типов разломов по их глубине, времени заложения, проницаемости и активности. Кроме того, необходимо учитывать также влияние систем трещиноватости, связанных с глубинными разломами.

Литература

1. Атлас родовищ нафти і газу України. — т. 1–III. Ред. М. М. Іванюта, В. О. Федішин, Ю. А. Арсірій [та ін.]. — Львів: УНГА. — 1998. — 142 с.
2. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие. / В. К. Гавриш [и др.]. — К.: Наук. думка, 1989. — 208 с.
3. Гордиенко В. В. Активизация тектоносферы и месторождения углеводородов / В. В. Гордиенко // Геофиз. журнал. — № 3. — т. 33. — 2011. — С. 75–101.
4. Закономерности размещения и прогнозирования значительных скоплений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине / Н. И. Евдошук [и др.]. — К.: Наук. думка, 1998. — 208 с.
5. Землетрясения в Днепровско-Донецком авлакогене / В. В. Кутас [и др.] // Геофиз. журнал. — № 5. — т. 37. — 2015. — С. 143–149.
6. Чебаненко І. І. Розломна тектоніка України / І. І. Чебаненко. — К.: Наук. думка, 1966. — 179 с.

СУПУТНИКОВІ МЕТОДИ ПРИ ВИВЧЕНІ ГЛИБИННИХ РОЗЛОМІВ ТА ВПЛИВ ОСТАННІХ НА НАФТОГАЗОНОСНІСТЬ (НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ)

А. І. Вороб'єв, В. І. Лялько, В. С. Куриленко, Т. А. Мельниченко

Виконано аналіз актуальності вивчення глибинних розломів (ГР) і можливостей супутників низького й середнього просторового розрізнення для вирішення задач їх виділення, а також оцінка впливу ГР на нафтогазо-носність структур Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: характеристики супутників, системи поздовжніх і поперечних глибинних розломів, тектонічна будова Дніпровсько-Донецької западини, статистичний зв'язок між глибинними розломами і нафтогазоносністю

SATELLITE METHODS AT STUDYING OF THE DEEP FAULTS AND INFLUENCE OF THE LAST ON OIL AND GAS BEARING CAPACITY (ON THE EXAMPLE OF THE DNEPROVSKO-DONETSK DEPRESSION)

A. I. Vorobiev, V. I. Ljalko, V. S. Kurilenko, T. A. Melnichenko

The actuality of deep faults (DF) analysis studying and possibilities of satellites of the low and average spatial resolution for the decision of their location problems, and also an estimation of DF influence on the Dneprovsko-Donetsk depression oil and gas bearing structures was carried out.

Keywords: characteristics of satellites, systems of longitudinal and cross-sectional deep faults, a tectonic structure of the Dneprovsko-Donetsk depression, statistical relation between deep faults with oil and gas presence

УДК 911.52(551.583.1+504.05):528.88

Remote sensing and geospatial analysis for monitoring the landscape dynamics inside the plain of Tafilalet (Morocco) under the impacts of climate change and human activities

Eddahby Lhou^{1,7}, Jihane Tlemçani², Mikhail Popov^{3*}, Sergey Stankevich³, Daoud Mezzane⁴, Igor Lukyanchuk⁵, Abdelkader Larabi¹, Ali Essahlaoui⁶

¹ Laboratory LIMEN "Water Resources & Information Technology", Mohammadia School of Engineers, Rabat, Morocco

² Faculty of Sciences and Technology of Errachidia, My Ismail University, Meknes, Morocco

³ Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

⁴ LMCN, Faculty of Sciences and Technologies, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

⁵ LPMC, Picardie Jules Verne University, Amiens, France

⁶ Research Group "Water Sciences and Environmental Engineering", Laboratory of Geo-Engineering and Environment, Faculty of Sciences, My Ismail University, Meknes, Morocco

⁷ DTO/DDZO/ANDZOA, 417, Bd. Al Maghreb Arabi, Ouarzazate, Morocco

In this study we are interested in the plain of Tafilalet to follow the dynamics of palms under constraints of climate change and human activities with the same approach. Climate changes are evaluated based on three methods: rainfall station of raft Erfoud, the deviation from the mean, the rainfall index and moving average 5 years. Identified and mapped the human actions are of three types: the discharge, liquid waste from cities and landfills and urban planning. Multispectral satellites images of Landsat TM (1984, 2009) and ETM+ (1999) are analyzed. Processing which takes account of both natural and human constraints allowed us to evaluate the dynamics palms of Tafilalet. The obtained results of this area were compared to the middle Ziz oasis.

Keywords: multispectral satellite imagery, land cover classification, climate change, human pressure, landscape dynamics, plain of Tafilalet (Morocco)

© Eddahby Lhou, Jihane Tlemçani, Mikhail Popov, Sergey Stankevich, Daoud Mezzane, Igor Lukyanchuk, Larabi Abdelkader, Ali Essahlaoui. 2016

Introduction

Climate change caused urgent environmental problems in Morocco. Morocco has a great desert southern-east area; approximately 93% of the country is arid or semiarid [13]. Modern geoinformation technologies uses the remote sensing data to monitor environmental condition and socio-economic consequences inside wide area [11].

In Morocco, the scarcity and randomness of rainfall and desertification are increasingly worrying and threatening farmland and irrigation infrastructure. Tafilalet region, located in the southern Atlas of Morocco, is facing enormous difficulties combining scarcity and poor quality of water then long periods of severe drought that have affected recent decades and whose ecological consequences are considerable, as evidenced by the decline in the area irrigated under the action of desertification and rising saline soils [1, 7, 9].

In this study, we attempted, using the remote sensing and geospatial analysis, to evaluate the current status and oases landscape dynamics at the regional level inside the plain of Tafilalet (Morocco) [12]. Our previous work has been on the middle Ziz Oasis using the

remote sensing and geoinformation technologies to determine the dynamics of soil occupancy rate in this area. This study showed the undeniable contribution of ground-based and remote sensing data for monitoring spatio-temporal covert plant oasis in an area very sensitive to the impact of climate change. The evaluation of chlorophyll activity was obtained by calculating the average NDVI of each scene (from 1972 to 2011) and validated by SAVI and MSAVI indices. In addition, we were able to calculate the vegetation area percentage within the study area [5].

The study area

The Plain of Tafilalet is located south-east of Morocco, in the pre-Saharan zone, with a varying width 15 to 20 km and long 50 km. It lies between latitudes 31°30' and 31°10'. It was the subject of several geological and hydrogeological studies [1, 3, 4, 9]. Quaternary basin Tafilalet is essentially a vast erosion depression, clearing of the resulting secondary and tertiary coverage and epigenetic of Ziz, Ghriss, Oukhit valleys. In the primary substratum, forms of erosion are represented by extensive glazing on the edge of the basin. These are much smoothed surfaces or regs that connect peripherals to the plains reliefs (Kreb of Hamada). Reliefs of the study

* E-mail: mpopov@casre.kiev.ua

area are mainly due to the limestone of Devonian sandstones and Ordovician. Altitude plain decreases from north to south from 850 *m* to 700 *m*. The plain has a markedly convex shape overall with an area of about 650 *km*². It is framed in the North and East by erosion ledges Hamada west and south by the olds massifs of the Anti-Atlas. The area of our study is shown in the Fig. 1a and 1b.

The climate of the region is arid or semi-desert with high continental influence. Rainfalls in the plain of Tafilalet are erratic in space and time. Fig. 2 shows a variation of annual rainfall between 10.7 *mm* observed for the period 1983–1984, and 185.2 *mm* observed in 2008–2009. The average annual rainfall is 65.66 *mm* for the period 1958–2009. The annual average evaporation is about 3 500 *mm*. This value is very high and leads to

data were submitted as topographic map 1:50 000 of study area (8 sheets), Tafilalet municipal plan, urban development plan of the Ziz Valley and other.

Evaluation the climate changes

The drought is defined as a period of time “abnormally” dry, prolonged enough to cause a water shortage lowering characterized by a significant water resource levels. There are a multitude of methods for the characterization of drought [15].

In this study we used three climate change indicators: rainfall index (ratio with the average rain of the reference station), deviation from the mean, and moving average 5 years rainfall [7] at the raft of Erfoud station (Fig. 2).

The calculation of the deviation from the mean rain-

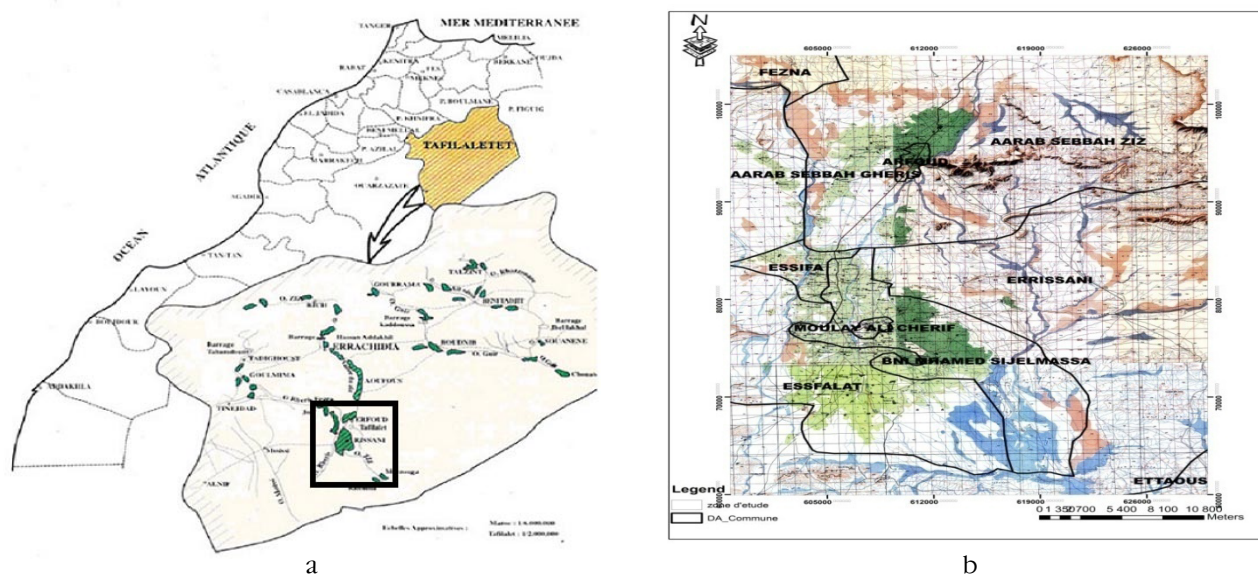


Fig.1. Plain of Tafilalet (Morocco) study area: a – location within state, b – topographic map

the characteristics of arid and Saharan climates. The maximum value of 521 *mm* is observed in July.

The drainage system in the plain of Tafilalet is composed by two wadis (river-beds): Ziz and Gheris. They arise from High Atlas. In times of drought they are dry except during floods. Mobilization of flood water in the area is done by a set of diversion dam.

Materials and methods

For the analysis we have used remote sensing satellite data and ground-based climate/topographic/statistical/census data over study area for the 1984 – 2009 period. Satellite data included Landsat TM (1984, 2009) and ETM+ (1999) medium resolution multispectral satellite images, as well as GeoEye-1 (2010, 2013) high-resolution multispectral satellite images. All satellite images were under radiometric/atmospheric correction and then were converted into land surface reflectance (0 ...1 range value in floating point format). Auxiliary

fall at the raft of Erfoud station has identified the most humid and rainiest year is 2008/2009.

Rainfall index deviations analysis allows to detect some anomalies in the annual rains. Fig. 3 shows the rainfall indices from 1958 to 2009, for the period more than 50 years.

Analysis of the moving average over five years extracts the trend of precipitation in the Fig. 4. The rainfall in the region is characterized by great irregularity; witch is characterized over the years by successive episodes of abundance of rain and drought. There are three rainiest periods: 1964–1980, 1987–1989 and 2006–2009.

Identifying and mapping the human actions

The degradation of groundwater quality that makes two way either by pollution which results from human activity or by natural degradation due to the geological nature of aquifers. Human groundwater contamination

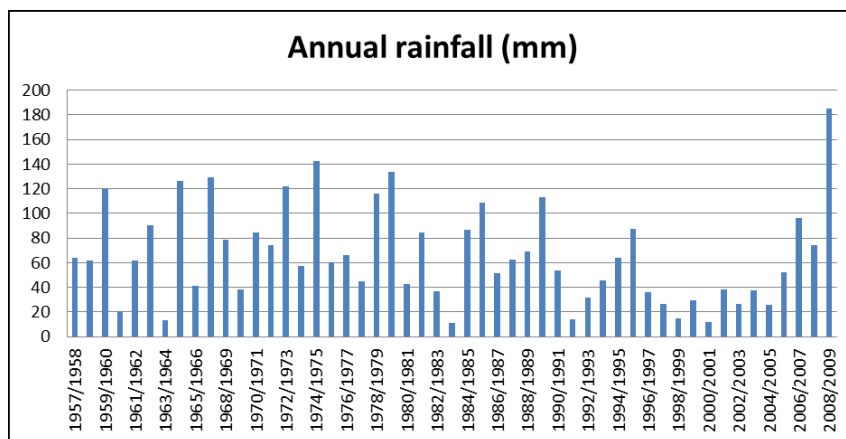


Fig. 2. Annual rainfall at the raft of Erfoud station (Source: ABH-GZR data)

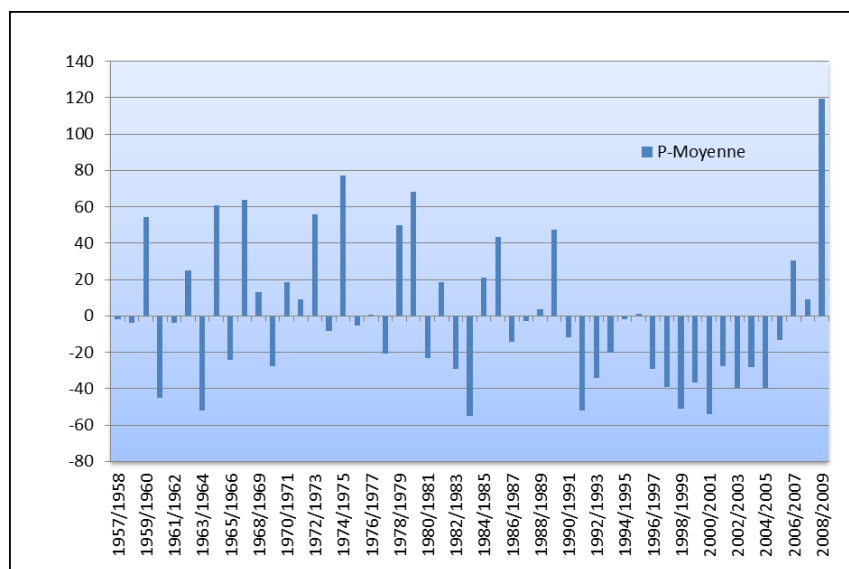


Fig. 3. Variation in rainfall compared to the average to Erfoud station

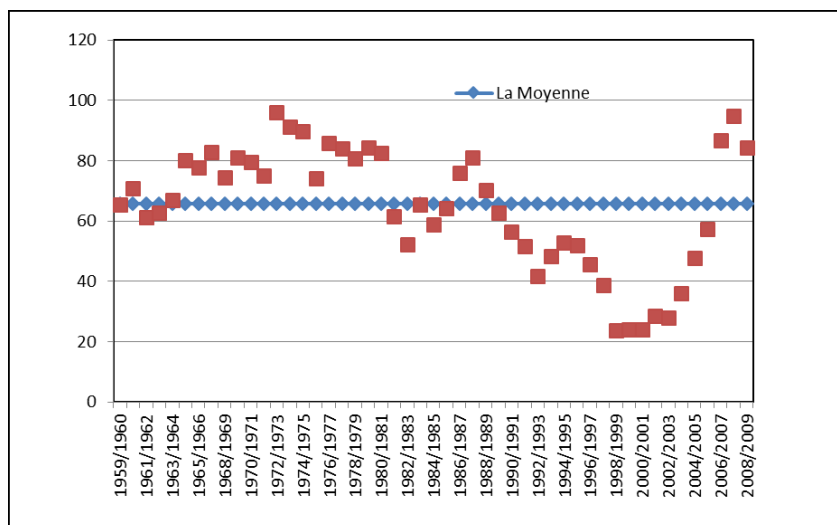


Fig. 4. Rainfall moving average over 5 years and compared with the average (1959–2009 period)

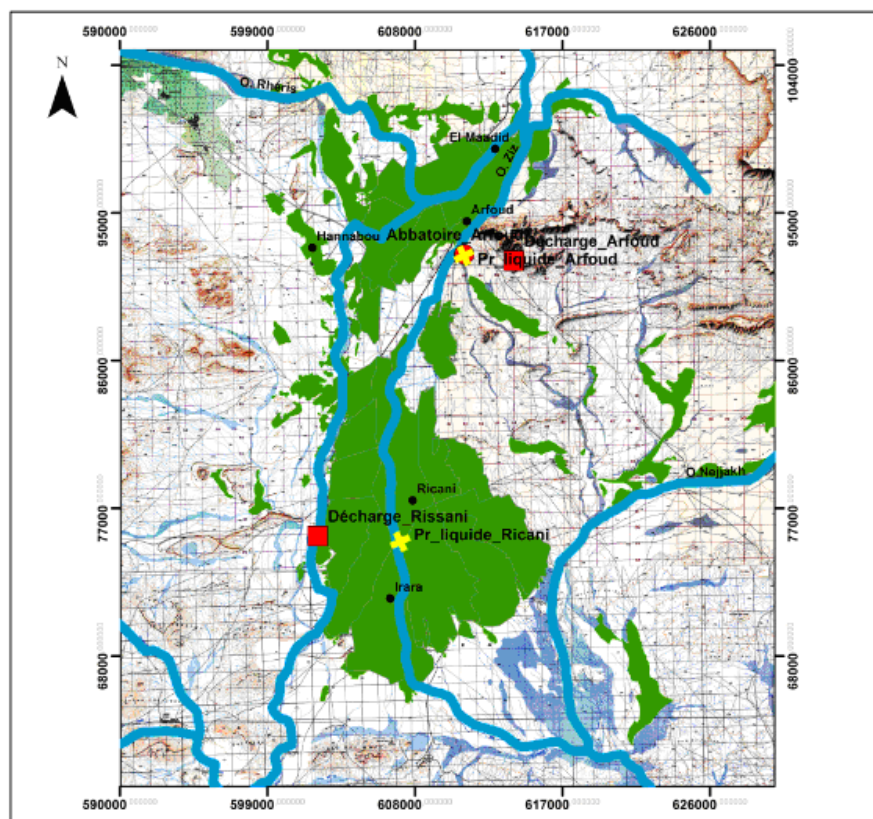
may be linked to the disposal of waste in a timely manner (uncontrolled dumps, septic tanks, discharge points of wastewater, livestock areas, mining areas residues and salt runoff and other chemicals on the roads) or diffusely (spreading manure, mineral fertilizers and other amendments to the land fertilization, pesticide use in the fight against unwanted organisms and acid rain).

In this study, landfills, liquid discharge points and the pollution caused by the industries are classified as point source of pollution of the groundwater in the plain of Tafilalet. Diffuse pollution is mainly related to agricultural activity. The palmary Tafilalet is divided into 21 sectors irrigation of different areas and which irrigation differs from one to another. It is done either by releases from dams Hassan Addakhil, pumped by river Ghr ss by flood river Ziz and/or resurgences by averaging one hand traditional and modern irrigation systems. The lack of statistics on the use of fertilizers in the plain of Tafilalet leads to the inability to assess the flow of diffuse pollution in this area. The Fig. 5 shows the main sources of pollution in the valley of Tafilalet.

The urbanization experienced significant changes at the oasis. Indeed, the habitat model NNNEI “Ksar” has several advantages: ecological habitat, ease of basic infrastructures installation: AEP, sanitation and electricity, and maintaining the solidarity of the population. However, the current habitat is in the “oil stain” around the Ksar: it introduced in a palm ecological disturbance factor of more threatening. A limited solely problem of sanitation is lacking completely in this type of habitat; we can measure the degree of danger to the waters of the aquifer under strain because of the widespread use of septic tanks in homes. In this work, we use the Remote Sensing and GIS to assess the impact of this phenomenal extension of urbanization in the plain of Tafilalet.

Evaluation the land cover dynamics

In this step, it is necessary to fulfill land cover classification for each time stamp determined by Landsat satellite image date. The challenge is the fact that tradi-



Legend

- ★ Point-rejet-liquide
- Abbatoir
- Décharge
- villes
- Oued
- Végétation

0 5 10 20 Km

Fig. 5. Map inventory of pollution sources mapped on topographic base

tional pixel-based classification by Landsat's spectral bands is critically difficult for study area. This is especially true for detection of sparse vegetation and population settlements, because their spectral signatures are mixed significantly. Accordingly, more sophisticated classification technique rather than one based on simple spectral signature was applied. Both spectral and spatial (texture) features were used [8].

The normalized differential indices of Landsat imagery were selected as spectral features, such as the vegetative one (between the red and NIR bands), water (between green and SWIR bands) and desert soil (between blue and MWIR bands) ones. The normalized difference indices provide the complete or partial invariance of land cover features with undesirable additive and multiplicative distortions of registered optical signals. The remote sensing practice confirms high informativity of the indices set against raw spectral values [10].

The spatial features are very important for land cover classification under desert conditions. The settlement area within vegetated oasis differs from pure vegetation in texture. The same goes for the sparse vegetation on desert soil background. In this paper, the satellite image texture was characterized by variation (or more exact, by standard deviation) and by isotropic spatial

contrast [6], which were calculated inside 5×5 sliding window averaging all 6 spectral bands.

Overall sequence of thematic processing of Landsat/TM/ETM+ multispectral satellite imagery for land cover classification is explained by Fig. 6 diagram.

Source multispectral images (a) of land surface reflectance are translated into the set of both spectral indices and texture parameters (b). These data layers are spatially consolidated in uniform multidimensional dataset, over which the statistical classification (c) already runs. Classification is done in two stages: 1) unsupervised pre-classification for the training samples determining within evident land cover classes and 2) final supervised classification to map selected land cover classes.

Results and Discussion

Frequency analysis of occurrence of dry years contributions in surface water in the study area are characterized by high variability. They can usually be 1 to 25 times the annual average. During droughts long periods, surface flows stop. However, these contributions to seasonal and inter-annual fluctuations as shown in Fig. 7.

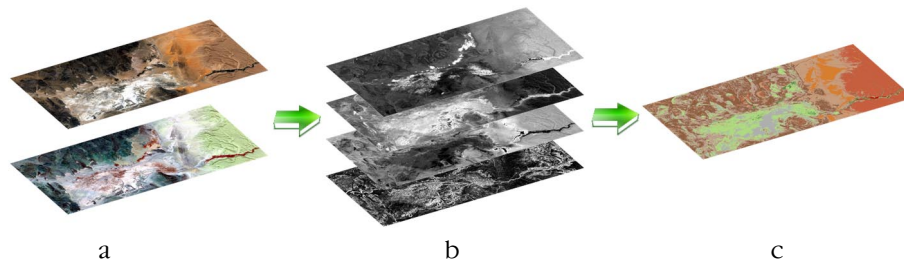


Fig. 6. Landsat satellite imagery thematic processing dataflow

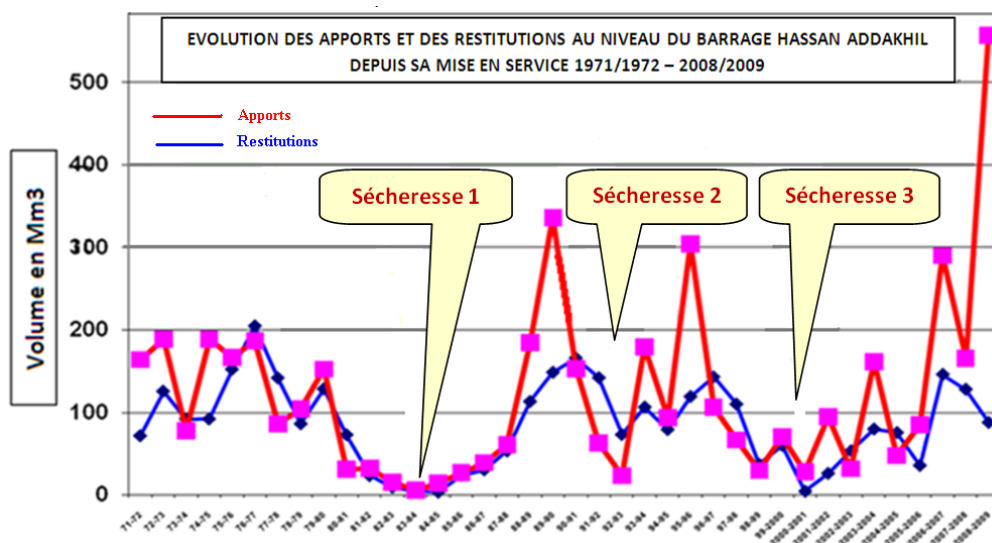


Fig. 7. Evolution of inputs and institutions of the dam Hassan Addakhil since its commissioning 1971/1971 to 2008/2009 (cycle recurrent droughts)

Table 1. Frequency analysis of occurrence of successive dry years (1959/2009)

Period type	Number of dry years	Frequency of occurrence of a dry year
1 Year insulated dry	8	8
2 consecutive dry years	1	2
3 consecutive dry years		
4 consecutive dry years	1	4
5 consecutive dry years		
6 consecutive dry years		
7 consecutive dry years		
8 consecutive dry years		
9 consecutive dry years		
10 consecutive dry years	1	10
Total dry years		24
Total years observed		51

Frequency analysis of occurrence of successive dry years was conducted over the period 1959/2009 by considering as dry all year where rainfall is less than 90 % of the average inter-station over the period studied. This analysis was performed on data from the raft Erfoud station.

The succession of periods of moderate drought (under three years) or severe (over four years) has an impact on the supply of groundwater resource. The resulting water problems of the effects of climate change depend on water deficit in the aquifer for severe drought farmers resort to pump groundwater to meet

Table 2. Comparison with the rainfall and dam releases

Year	Volumes of releases Hassan Addakhil dam, Mm^3	Annual rainfall, mm
1983	0	10.7
1984	1984	86.7
...	...	...
1999		
2000	0	11.7
2001	0	38.2
...	...	...
2008	85.26	60.7
2009	39.32	185.2

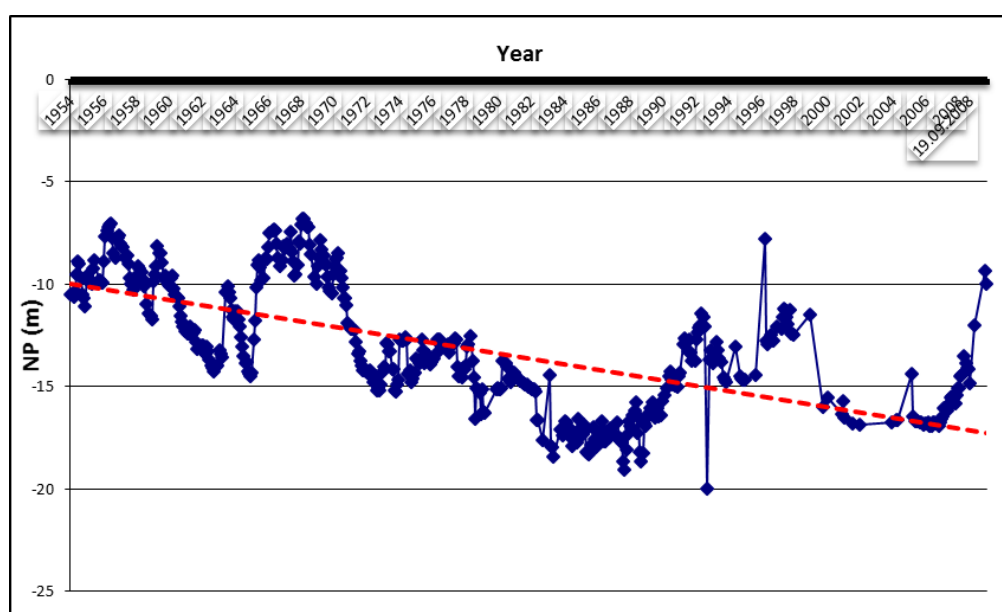
the needs of the palm. The Fig. 8 shows the evolution of the groundwater level in the aquifer in the center of the study area.

The Fig. 8 trend confirms the aridization in region, and most likely due to climate change.

Also the close correlation between rainfall precipitation and Hassan Addakhil dam releases is observed.

The year 1984 was characterized by lack of releases from the Hassan Addakhil dam and rainfall was very low. However, for the year 2009, the rainfall exceeds the annual average in most of the releases from the dam about 40 Mm^3 .

The results of the land cover classification for multi-temporal Landsat satellite imaging (30 m spatial resolution) are shown in Fig. 9. The area occupied by settlements, normal (dense) vegetation and sparse vegetation was measured by multi-temporal maps of land cover classification which in Fig. 9. Percentage of said land cover classes within the images of study area are summarized in Table 3.

**Fig. 8.** Level change piezometric INE No. 446/57 of the quaternary table cloth Erfoud

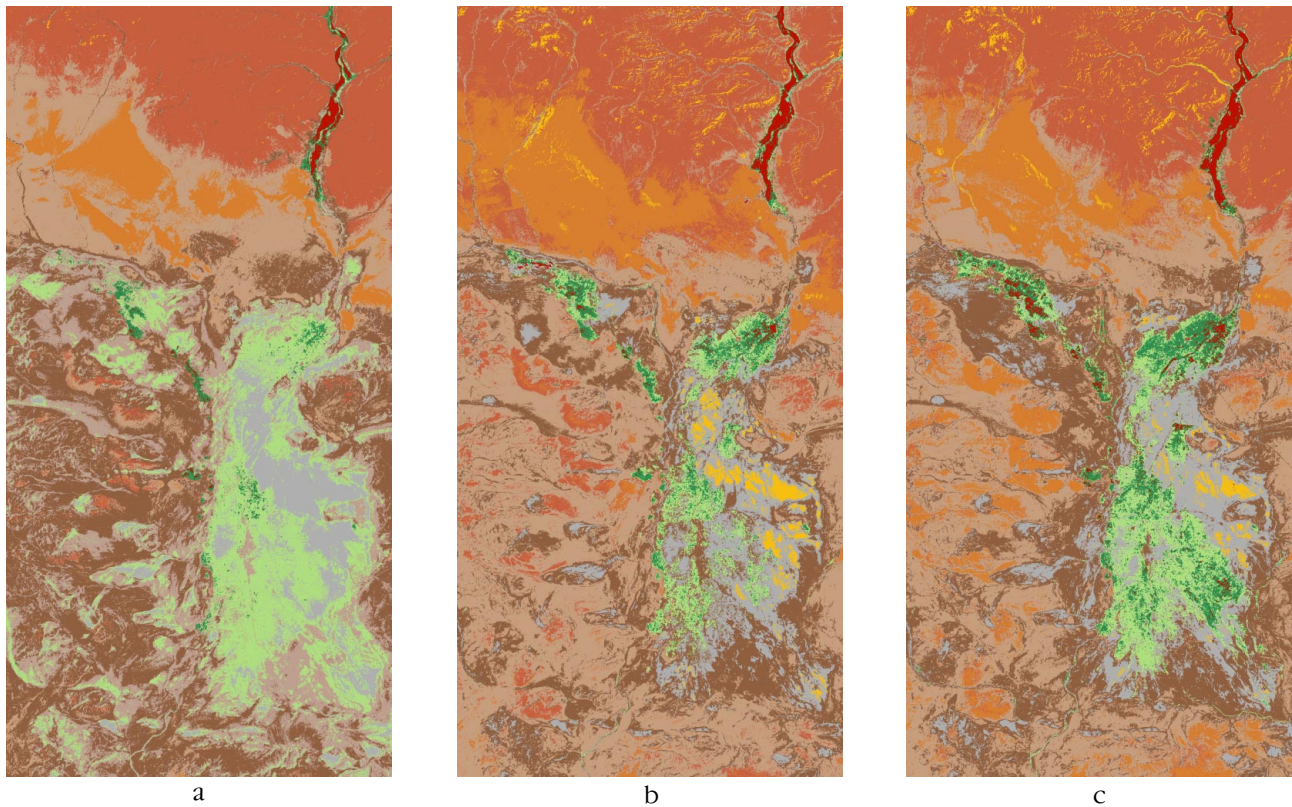


Fig. 9. Land cover maps by Landsat multispectral satellite imagery: a – August 1984, b – August 1999, c – July 2009

Normal vegetation is concentrated in oases, in conjunction with human settlements; it is artificially cultivated, and its area increasing coupled with the growth of the settlement area. The sparse vegetation is mostly natural and it is under the anthropogenic pressure. Its area is shrinking rapidly in context of urban planning.

Field surveys have shown that the number of date-palm feet in the study area has been declining. This is the disease of Bayoud and the lack of good technical conduct of the spinneret: in fact, the soils have low organic matter content and available phosphorus content and low exchangeable potassium from North to South of the palm. Indeed, the number of date palm feet at the plain of Tafilalet (Erfoud CMV 703, Rissani and Merzouga CMV CM 705 716) in 2009 was 506 750 plants. However in 1984 it was approximately 560 000 plants. The change in NDVI shows its limitations in assessing the percentage degradation of the palm.

The plain of Tafilalet is characterized by a pre-urban urbanization that is experiencing a significant gap between urban growth and lack of basic infrastructures. This is due to the lack of land control and disrespect of texts relating to urban planning and environmental protection cause various nuisances: regression of agricultural land, development of housing and infrastructure on sites inappropriate at risk, recourse to preemptive rights [2, 14]. This urbanization affects the palm (destroying of plants palms and pollution of the water resource), the degradation of the living environment and on controlling infrastructure costs.

Conclusions

Today humanity is under the cumulative impact of both climate change and increasing anthropogenic pressure. The negative effect of these drivers is filled primarily in countries with hot and dry climate, and Morocco is one of them.

The aim of this research was to evaluate the landscape dynamics inside the plain of Tafilalet under the impacts of climate change and human activities. Climate changes were evaluated by the amount of rainfall percipitation; requested data have been received from local meteorological stations. Anthropogenic activity was assessed by classifying and geoinformation analysis of multitemporal multispectral satellite imagery. The satellite imagery thematic processing dataflow for change detection was proposed.

By a joint analysis of satellite and ground meteorological data quantitative estimates of landscape dynamics within the region of interest were obtained. These estimates may be useful in the planning of economic activity and decision-making in the region.

A clear trend was detected on significant growth of human settlement area and associated vegetation, while natural sparse vegetation area reducing. This trend most likely is the result of intense urbanization within the fragile ecosystems of desert oases, but the situation has been worsen by long-term aridization in region.

Future works should be aimed to models develop-

ing of climate change taking place on the south-eastern Morocco territory, medium-term forecasts provisioning and science-based recommendations establishing to mitigate negative consequences in socio-economic conditions.

References

1. Amharref M. Contribution to the hydrological study of the valley of the Ziz (Province of Errachidia in the south east of Morocco). The respective effects of drought and the Hassan Addakhil dam on the down-stream water resources / M. Amharref / Doctoral Thesis University of Besançon. — Besançon: University of Franche-Comté, 1991. — 232 p.
2. Ben Attou M. The new demographic aspects toward the development in the Moroccan Pre-Sahara: The case of Draa-Tafilalt / M. Ben Attou // *Revue AFN Maroc*, 2014. — Vol.14. — No.12. — P. 50–81.
3. Boudad L. The sedimentary formations of Pleistocene and Holocene of Tafilalet (southeastern Morocco). *Géochronologie, Stratigraphie and palaeoenvironment* / L. Boudad / Doctorat d'Etat en Géologie (option sédimentologie, Géologie du Quaternaire). — Meknès : Universit Moulay Ismail, 2004. — 270 p.
4. El Ouali A. and al. Food deep aquifers of sedimentary basins piedmont drylands their borders reliefs: Case Cretaceous aquifers basin of Errachidia (Morocco) / A. El Ouali, J. Mudry, P. Chauve, J. Mania, A. Essahlaoui, M. Marzouk, L. Eddahby // *Africa Geosciences Review*, 2000. — Vol.7 — No.4. — P. 371–381.
5. Essahlaoui A. Integration of remote sensing and GIS in studying land cover trends and conditions in the Middle Ziz Oasis, Morocco / A. Essahlaoui, A. Mohamed, E. Lhou, F. Mohamed, L. Abdelkader // *International Journal of Geosciences*, 2013. — Vol.4. — No.7. — P. 1018–1023.
6. Kiema J.B.K. Texture analysis and data fusion in the extraction of topographic objects from satellite imagery / J. B. K. Kiema // *International Journal of Remote Sensing*, 2002. — Vol.23. — No.4. — P. 767–776.
7. Lhou E. Agriculture and salinity in the plain of Tafilalet: Evaluation of the impact of irrigation and methodological approach to water control / E. Lhou // *Proceedings of the closing seminar of the development study of rural communities in semi-arid areas of Southeast Atlasic through rehabilitation khetaras in the Kingdom of Morocco*. — Errachidia: JICA, ORMVA / Tf, 2005. — P. 102–25.
8. Liu D. Data field modeling and spectral-spatial feature fusion for hyperspectral data classification / D. Liu, J. Li // *Sensors*, 2016. — Vol. 16. — No.12. — P. 2146.
9. Margat J. Hydrogelocal study of the quaternary basen Tafilalet / J. Margat // *Water Resources in Morocco*. — Rabat: Geological Survey of Morocco, 1977. — T. 3. — P. 310–380.
10. Popov M. A. Multispectral imagery normalized band-difference indexes for land cover classification / M. A. Popov, S. A. Stankevich, A. I. Sakhaty, A. A. Kozlova // *Proceedings of Digital Earth Summit on Geoinformatics 2008: Tools for Global Change Research*. — Potsdam: Wichmann Verlag, 2008. — P. 333–338.
11. Popov M. A. Satellite monitoring for desertification forecasting and prevention / M. A. Popov, S. A. Stankevich, A. A. Kozlova, I. Luk'yanchuk, D. Mezzane, M. O. El Bah // *Stimulus for Human and Societal Dynamics in the Prevention of Catastrophes* / Ed. by A. Avagyan, D.L. Barry, W.G. Coldewey, D.W.G. Reimer. — Amsterdam: IOS Press, 2011. — P. 219–223.
12. Popov M. A. Satellite monitoring of desert oases dynamics caused by climate change / M. A. Popov, S. A. Stankevich, I. Luk'yanchuk, D. Mezzane, E. Lhou // *Abstracts of 16th Ukrainian Conference on Space Research*. — Odessa: Odessa Regional Institute for Public Administration, 2016. — P. 178.
13. Popov M. A. Socio-economic benefits from the prevention of desertification in Morocco and Mauritania using satellite monitoring / M. A. Popov, S. A. Stankevich, A. A. Kozlova, I. Luk'yanchuk, D. Mezzane, M. O. El Bah // *Correlation between Human Factors and the Prevention of Disasters* / Ed. by D. L. Barry, W. G. Coldewey, D. W. G. Reimer, D.V. Rudakov. — Amsterdam: IOS Press, 2012. — P. 3–14.
14. Study of regional layout of land the region Meknes-Tafilalet / 03 Reports. — Meknes: Regional Inspectorate of Spatial Planning, 2006. — 39, 334 and 137 p.
15. Yahyaoui M. Drought in the basin Guir Gheris and Ziz / M. Yahyaoui // *Review of Water and Development*, 1998. — Vol.3. — No. 5. — P. 6.

ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ТА ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДИНАМІКИ ЛАНДШАФТІВ РІВНИНИ ТАФІЛАЛЕТ (МАРОККО) ПІД ВПЛИВОМ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН І ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

Еддабі Лоу, Тлемсані Джихан, Михайло Попов, Сергій Станкевич, Дауд Мезан, Ігор Лук'янчук, Ларабі Абделькадер, Ессалау Алі

В даному дослідженні в рамках єдиного підходу розглядається динаміка ландшафтів рівнини Тафілалет під впливом кліматичних змін і діяльності людини. Кліматичні зміни оцінюються середньорічними значеннями та середньоквадратичними відхиленнями кількості опадів на метеостанції району Ерфуд, а також ковзаючим середнім в 5-річному інтервалі. Факторами людської діяльності виступають водні стоки місць, а також міська забудова. Проаналізовано багатоспектральні космічні знімки Landsat TM (1984, 2009) та ETM+ (1999). Їх аналіз дозволив виявити динаміку ландшафтів Тафілалет під впливом як природних, так і антропогенних чинників. Одержані результати порівняно із ситуацією в оазисі Зіз.

Ключові слова: багатоспектральні космічні знімки, класифікація земних покриттів, зміни клімату, вплив людини, динаміка ландшафтів, рівнина Тафілалет (Марокко)

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТОВ РАВНИНЫ ТАФИЛАЛЕТ (МАРОККО) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Эддаби Лоу, Тлемсани Джихан, Михаил Попов, Сергей Станкевич, Дауд Мезан, Игорь Лукьянчук, Лараби Абделькадер, Эссалау Али

В данном исследовании в рамках единого подхода рассматривается динамика ландшафтов равнины Тафилалет под воздействием климатических изменений и деятельности человека. Климатические изменения оцениваются среднегодовыми значениями и среднеквадратическими отклонениями количества осадков на метеостанции района Эрфуд, а также скользящим средним в 5-летнем интервале. Факторами человеческой деятельности выступают водные стоки городов, а также городское строительство. Проанализированы многоспектральные космические снимки Landsat TM (1984, 2009) и ETM+ (1999). Их анализ позволил выявить динамику ландшафтов Тафилалет под воздействием как природных, так и антропогенных причин. Полученные результаты сравнивались с ситуацией в оазисе Зиз.

Ключевые слова: многоспектральные космические снимки, классификация земных покрытий, изменения климата, воздействие человека, динамика ландшафтов, равнина Тафилалет (Марокко)

UDC 621.396.96

Spaceborne radar identification of desert regions as suppliers of dust into the atmosphere

V. K. Ivanov, A. Ya. Matveyev, V. N. Tsymbal, S. Ye. Yatsevich * and D. M. Bychkov

A. Ya. Usikov Institute of Radio Physics and Electronics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Atmosphere dust represents a mixture of minute particles of various salts and minerals. Also it contains remains of animal and vegetable organisms, spores of causative organisms and so forth. The dust is carried by winds over considerable distances and its presence in the atmosphere is among the factors which have essential influence on the global climate of the Earth. At present the Aeolian processes and their consequences are monitored from space using multispectral optical systems (TOMS, METEOSAT, MODIS etc.) only. These are not capable of reliable identification of the areas themselves that are sources of raising the dust in the atmosphere independently of the cloudiness, solar illumination and transparency of the atmosphere. This problem can be solved with the use of space radar systems of the Earth remote sensing. The paper presents the first results of the development of a radar technique of identification of desert regions in which dust from the surface is transported up into the atmosphere under the action of Aeolian processes. The work was performed using data of Earth remote sensing SAR Envisat-1 obtained over deserts of Mauritania. Specific features of display of the narrow-beam backscattering of radio waves in radar images in dependence on the surface wind speed and direction and direction of radar illumination of the surface. It is concluded that the radar means of remote sensing represent an efficient tool for detecting regions of dust raise into the atmosphere. Results of the study can be used for the development of new methods of remote monitoring of the processes in desert areas that affect the climate of vast regions of the Earth.

Keywords: radar observations, highly directional radio wave backscattering, Aeolian transport of sand and dust, sand ripples, ionization, electric field

© V. K. Ivanov, A. Ya. Matveyev, V. N. Tsymbal, S. Ye. Yatsevich * and D. M. Bychkov. 2016

Introduction

Atmospheric dust represents a mixture of minute particles of various salts, minerals, rocks, coal, soil, and other various mixtures and chemical compounds of mineral and organic nature. It also contains remains of vegetable and animal organisms, spores of causative microorganisms, and so forth. The dust is carried by winds over considerable distances and its presence in the atmosphere is among the factors which have essential influence on the planet climate [6]. Presence of the dust of low concentrations promotes the atmosphere heating and results in global climate warming. Although, in the case of high concentrations, the dust impedes penetration of solar radiation, so leads to the Earth's surface cooling. It is known that about 4 billion tons of the dust and sand raised into the atmosphere yearly come back with atmospheric precipitation on the continental surface and more than 1.5 billion tons are deposited on the surface of the great oceans to enter then the composition of marine sediments [4]. Taking into account the global character of the Aeolian (wind-related) processes, it is evident that their continuous monitoring is possible only with the use of space systems of earth remote sensing.

At present, the space monitoring of the Aeolian processes and their effects is performed with the use of multispectral optical systems only (TOMS, METEOSAT, MODIS etc. [6]). These optical systems along are incapable of providing reliable identification of the areas which represent the sources of raising the dust into the atmosphere and following the dynamics of the Aeolian processes. The optical systems are also known to be heavily affected by the cloudiness, solar illumination and transparency of the atmosphere. The problem can be solved instead with the use of space-borne radar systems of remote sensing of the Earth. Paper [8] presents results of detecting the appearance of the effects of anomalous highly-directional (narrow-beam) backscattering of radio waves associated with the above mentioned processes. The effects are observed at practically the same angles of local illumination of the surface $\Theta = 30^\circ$ in both the radar images of deserts in Mauritania obtained by the side-looking radars of the artificial satellites of Earth: "Kosmos-1500" and "Sich-1" (the operation wavelength $\lambda = 3.15 \text{ cm}$), and by the synthetic aperture radar (SAR) of Envisat-1 ($\lambda = 5.6 \text{ cm}$) satellite. An explanation has been suggested for the mechanism of occurrence of the effect due to radio wave scattering by properly oriented ionized spaces which embrace the sand ripple structures in the process of their formation in the course of Aeolian transportation of the sand-dust mixture (see Fig. 1). It has been assumed that the ionization is produced by a

* E-mail: sey59@mail.ru

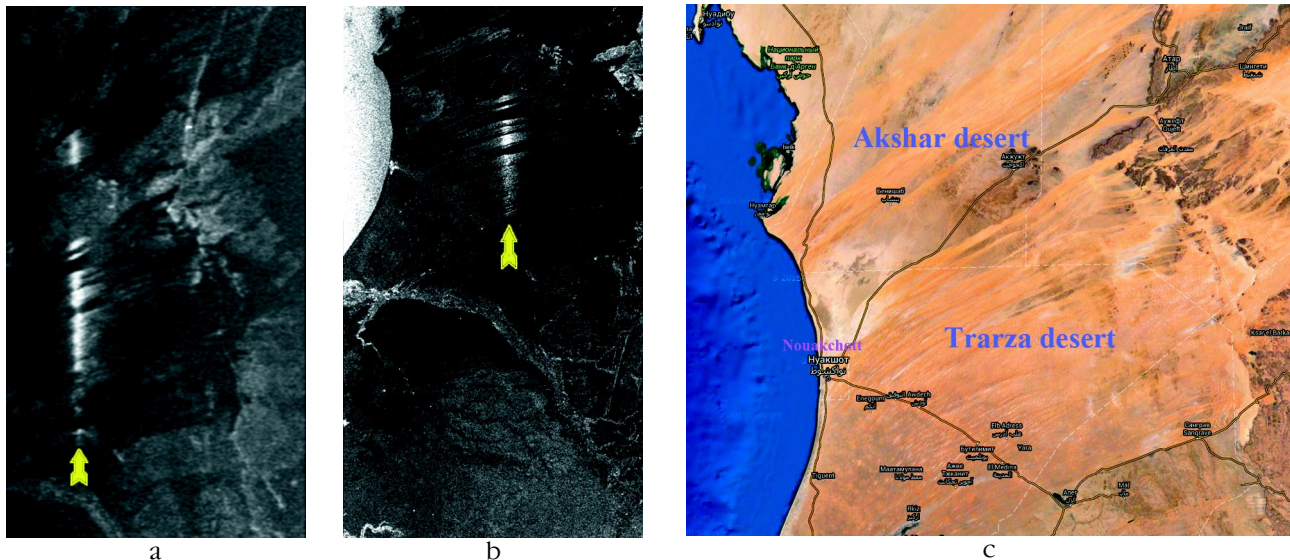


Fig. 1. Akshar and Trarza deserts (Mauritania) radar images obtained from: SLR satellite “Sich-1” on Dec. 19, 1995 (a); ASA_GM1_1P Envisat-1 on Dec. 08, 2010 (© ESA). Are allocated the effects of anomalous highly-directional backscattering of radio waves associated with the Aeolian transportation of near-surface sand/dust mixture (marked by arrows). Optic image taken from the Google Earth (c)

strong inhomogeneous electric fields (up to 250 kV/m) arising as a result of the Aeolian transportation.

This paper presents the first results of application the developed technique of identification of desert regions which are responsible for the process of raising the dust from the surface to the atmosphere under the action of the Aeolian activity based on radar imaging analysis. The work was carried out with the use of the calibrated data of radar remote sensing of the Mauritanian deserts obtained by the ASAR Envisat-1 between 2004 and 2012. The study is focused on analyzing the specific features of the appearance of highly-directional backscattering of radio waves in radar images which occur with different speeds of the near-surface wind and mutual orientations of the radar illumination of the surface (azimuth SAR antenna beam pattern axis projection on the Earth's surface) and wind direction. Peculiarities of the formation of the ionized layer boundary embracing the sand ripple structures in the course of transportation of the sand-dust mixture are also analyzed and taken into account. It is assumed that the ionization is produced by a strong inhomogeneous electric fields generated due to motion of air-borne charged grits, specifically, saltons and reptons, over the sandy bed. In the conclusion, the specific features are discussed as for efficient application of radar means of remote sensing for detecting regions of raising the dust into the atmosphere.

Analysis of specific features of the effects of the anomalously highly-directional backscattering of radio waves and Aeolian transportation of the sand-dust mixture

In order to verify the proposed explanation of the mechanism of occurrence of the anomalously narrow-beam scattering of radio waves suggested in paper [8], it was estimated the efficiency of radio wave scattering

by a sandy surface disturbed sand ripples. To that end, in [9] was determined the maximum possible (in the case of the oblique backscatter remote sensing) backscatter factor of such a structure in the steady state (when there is no wind-produced motion of the sand ripples) for the situation where the radio wave is normally incident upon the surface of the plane lee slope. This was taken into account that the effective depth of penetration of a radio wave with $\lambda = 5.6 \text{ cm}$ into dry sand makes dozens of centimeters, i.e. is equal to a few wavelengths. Therefore, the scattering by a sand ripple can be related to a surface-volume scattering by a great number of scatterers. The phase relationship between the respective spectral components of the radar signals scattered by adjacent humps of the ripple spaced by several λ represents a random value (so, the coherent summation of backscattered signals is impossible).

Based on the experimental data of measuring the backscatter factor σ of the desert sand in dependence on the angle of local illumination θ [5], it was identified that the maximum possible values of σ of a sandy surface disturbed by a ripple in the steady state do not exceed $-14 \dots -17 \text{ dB}$. Actually, the photos of sand ripple structures (see pictures a–c in Fig. 2) indicate that the shape of the lee slope of the ripple humps differs essentially from a plane, and hence the above estimates can apparently appear to be that high.

Analysis of the experimental results

The intensity of scattering from a sand surface in the case of Aeolian transportation of the sand-dust mixture was estimated using archive radar images from the Envisat-1 satellite provided by the European Space Agency (ESA) for the fulfillment of the Project ID: C1F30193. The images have been selected from the EOLI-SA on-

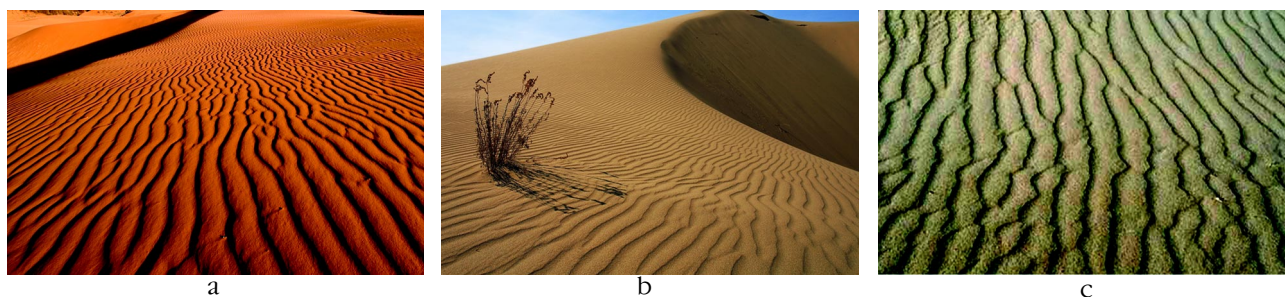
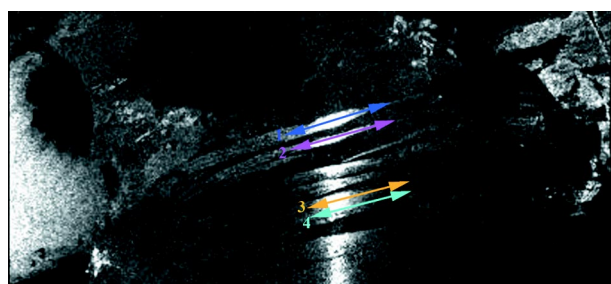


Fig. 2. Sand ripples: (a–c) photos of the structures taken from the Google Earth

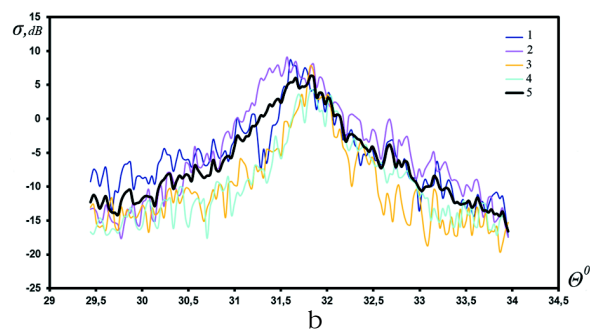
line catalog with account of the data concerning the surface wind velocity and direction [2]. Then, the scattering intensities have been standardized to the scattering cross-section, with the use of standard programs provided by the ESA for the open access to process the images (NEST 4B-1.0, NEST 5.1).

Pictures a and c in Fig. 3 present fragments of the radar images of an area of the Trarza desert obtained by

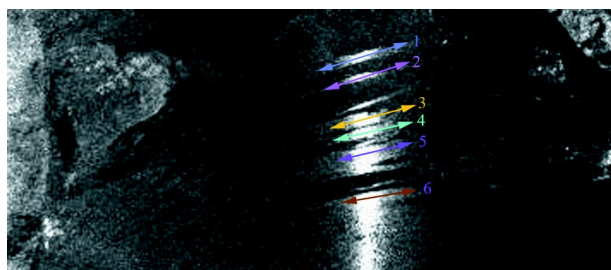
the satellite Envisat-1 ASA_GM1_1P on January 12, 2012 and January 13, 2005. Pictures b and d of Fig. 3 depict the respective dependences of the backscatter factor σ on the angle of local illumination θ along the fragment sections (arrows 1 to 5). The sections are drawn through the most homogeneous regions of the surface for which the effects of anomalously high-directive backscatter of radio waves were observed. Shown by the thick black



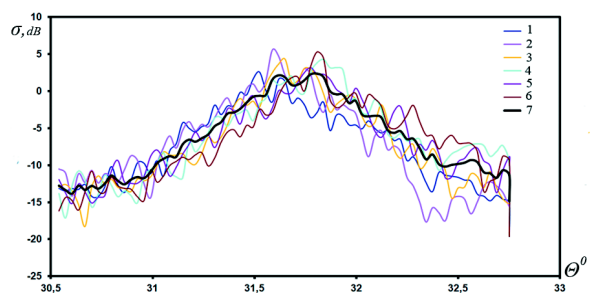
a



b



c



d



e

Fig. 3. Effect of occurrence of the anomalously high-directive backscattering of radio waves: (a) and (c) — fragments of the radar images of a region of the Trarza desert obtained from the satellite Envisat-1 ASA_GM1_1P on Jan. 12, 2012 and Jan. 13, 2005 (© ESA), respectively; (b) and (d) — dependences of the backscatter factor σ on the angle of local illumination θ along sections of the respective fragments of the radar images; and (e) — sandy dunes in the region under survey (Google Earth)

lines are averaged $\sigma(\Theta)$ -dependences. As can be seen, the averaged observed values of $\sigma(\Theta = 31.5...32^\circ)$ in Fig. 3 b and Fig. 3 d exceed 5 and 3 dB (for the same weather conditions) which values are greater by more than 17...21 dB as compared with the maximum magnitudes calculated for the static sand ripple. According to the meteorological data [2], the surface wind speed during the survey was about 5 m/s, while its direction was practically opposite to the SAR radiation direction.

Fig. 4 shows phases of developing the processes of the anomalous scattering. In the case of a light (~ 1 m/s) surface wind with unstable direction (Fig. 4 a, left-hand part of the composite radar image Envisat-1, ASA_GM1_1P, 2004-06-11) no manifestations of the effects of anomalously high-directive backscattering of radio waves were observed. However, already for the wind speed ~ 2 m/s and practically opposite direction

Fig. 3 b (~ 5 dB) can be explained by a lower speed of the near-surface wind during surface imaging.

Pictures c and d in Fig. 4 correspond to the stage of initiation of the effect of anomalous highly-directional backscattering of radio waves. The bright points in the fragment of the radar image (Fig. 4 c, Envisat-1 ASA_GM1_1P, 2010-14-12) indicate the surface areas where the effect starts to appear.

The observations were carried out under conditions of a near-surface wind with variable direction with respect to the SAR radiation direction which blew with a speed between 1 and 2 m/s. It should be noted that under these conditions the local maxima of backscattering (see Fig. 4 d) already reach considerable magnitudes ($-5...-2$ dB), however are observed in a broader range of the angles $\Theta = 28.5...31.5$ as compared to the developed state ($\sim 31.5 \pm 0.25$). In

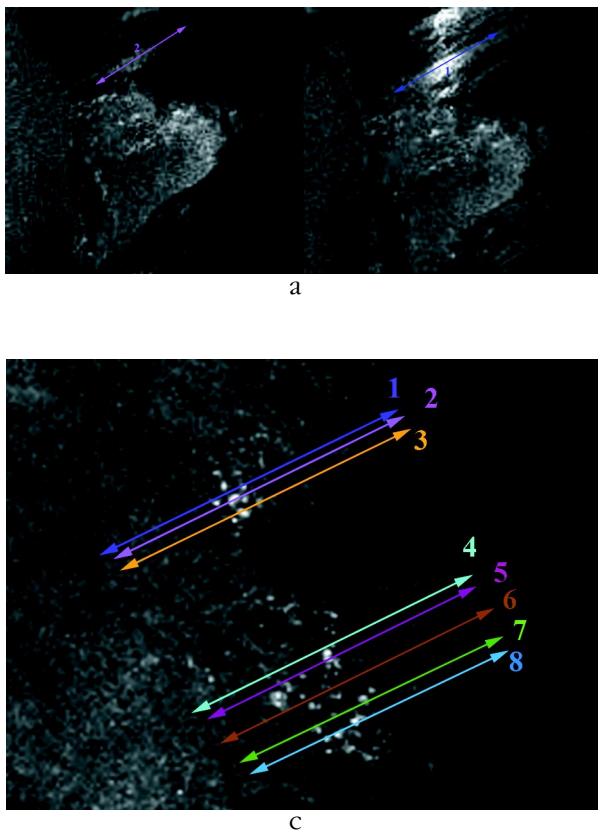


Fig. 4. Fragments of the radar images Envisat-1 ASA_GM1_1P (© ESA) obtained on Nov. 6, 2004 with the wind speeds ~ 1 m/s (left-hand part) and ~ 2 m/s (right-hand part) Envisat-1 ASA_GM1_1P (© ESA) obtained on Dec. 11, 2004, (a). Dependences of the backscatter factor σ on the angle of local illumination Θ along the depicted lines of radar image sections (b). The fragment of the radar image of a desert region obtained on Dec. 14, 2010 (c). The backscatter factor σ in dependence on the angle of local illumination Θ along the radar image sections (d)

of the wind with respect to the SAR illumination radiation direction (the right-hand part of the composite radar image Envisat-1 ASA_GM1_1P, 2004-11-12), the effect of anomalous scattering has proven to be significant. The lower magnitude of the maximum scattering cross-section (~ -1 dB) at the incidence angle of sensing $\Theta = 31.5^\circ$ in Fig. 4 b as compared with that in

the following sections we will get back to this effect analysis again.

Fig. 5 presents a fragment of the radar image (a) and respective dependences $\sigma(\Theta)$ (b) of crosssections (Envisat-1 ASA_GM1_1P, 2005-28-12) obtained for a region in the Trarza desert. The survey has been carried out in the situation where the near-surface wind speed was

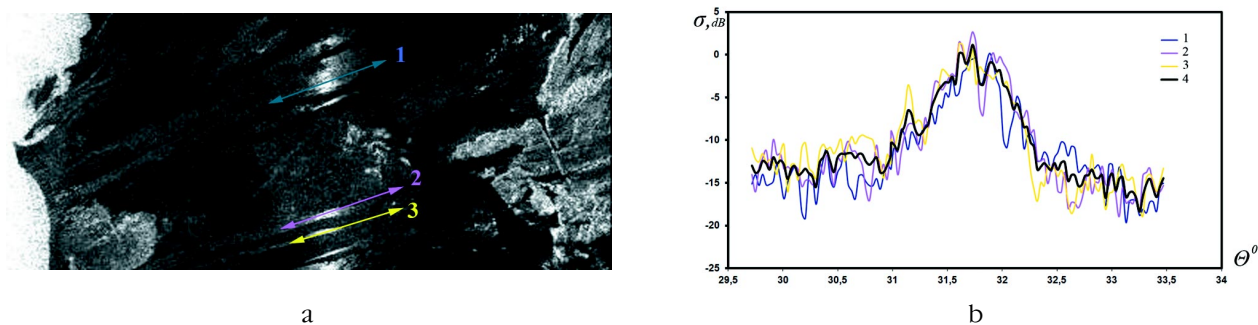


Fig. 5. The effect of anomalous narrow-beam scattering of radio waves in the situation where the opposite wind direction deflected by $\sim 45^\circ$ with respect to the SAR radiation direction: (a) fragment of the radar image (Envisat-1 ASA_GM1_1P, 2005-28-12, © ESA) of a region in the Trarza desert; (b) dependences of the backscatter factors σ on the angle θ of local illumination along the sections (arrows 1 to 3) of the radar images shown in Fig. 4 a

about 5 m/s and its direction was deflected by $\sim 45^\circ$ (within the azimuthal plane) from the direction of radar illumination of the Earth's surface.

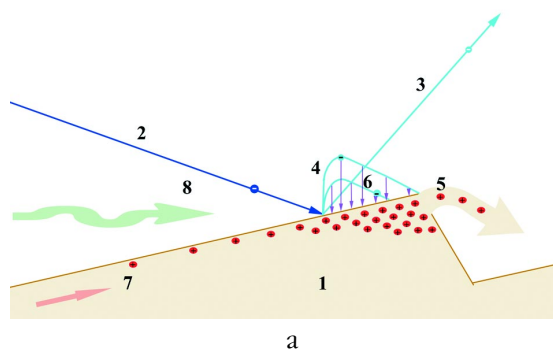
At that, the maximum value of σ showed a decrease by 3 or 4 dB as compared with the Envisat-1 ASA_GM1_1P on 2012-01-12 and 2005-01-13 (see Fig. 3) obtained for the same wind speed and practically same direction with respect to the SAR radiation direction.

As was mentioned above, we suppose that the main scatterer of radio waves in the experiments is the ionized air in the near-surface layer saturated by negatively charged grains of sand. Therefore, in order to explain the obtained experimental results of observation of anomalous radio wave scattering, let us consider the specific features of the grain motion.

Specific features of motion of the negatively charged sand grains over the surface

Various models are used to describe motion of the negatively charged sand grains ("saltons") over the surface with accounting of the drag, gravitational and electric forces. For example, in paper [10] the motion of such grains is described as follows:

$$ma_x = \pi D_p^2 / 8^* \rho_a C_d |V_R| (U - v_x)$$



$$ma_z = \pi D_p^2 / 8^* \rho_a [-C_d |V_R| v_z + C_1 (U_{top}^2 - U_{bot}^2)] - mg + qE,$$

where m , q and D_p are, respectively, the mass, charge and diameter of the grain; a_x and a_z are the grain accelerations along the x - and z -axis, respectively; V_R is the vector difference between the wind and grain speeds; U is the horizontal component of the wind speed; U_{bot} and U_{top} are the wind speeds below and above the grain; ρ_a stands for the air density; g is the gravitational constant; and E is the electric field in the place of grain location. The drag factor C_d is calculated using the Reynolds number for the respective shape of the sand grains. The raising factor C_1 is equal to $0.85 C_d$. To determine the grain motion trajectory, the motion equation is integrated numerically.

It was shown in paper [12] that a result of the so-called "splash"— which occurs when a salton (flying due to wind) hits into a sand bed at a high speed— is knocking-out of another charged particle of a grain, namely, another salton. The salton rebounded from the sand bed moves at a speed practically equal to that of the impacting one (see Fig. 6). The rebounded saltons escape the sand surface at an angle $34...40^\circ$ to the horizon. In addition to the rebounded saltons, one or several other grains (up to 20 depending on the speed and mass of the impacting salton [3]) also get ejected from the sand surface. These grains, known as "reptons", move at a speed approximately equal to one tenth of the impacting salton

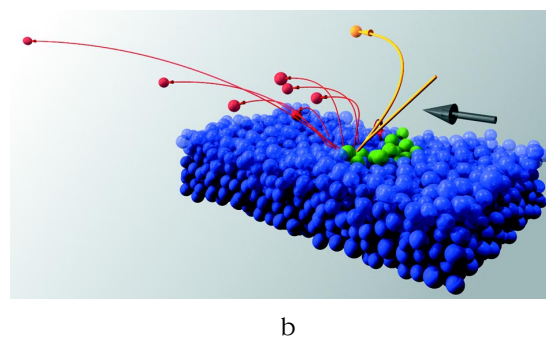


Fig. 6. A "splash" occurring due to a hit of a salton into sand ripple surface: (a) 1 — sand bed, 2 — negatively charged impacting salton, 3 — negatively charged rebounding salton, 4 — negatively charged ejected repton, 5 — positively charged sand grains, 6 — ionized space, 7 — direction of sand ripples movement, 8 — near surface wind direction; (b) 3-D representation of the results of computer simulation [1]

one. At that, the reptons escape at an angle $\sim 70^\circ$ to the horizon in different directions (in a semicircle) and do not ascend in the layer with the accelerating wind. Fig. 6, b shows a 3-D image representation [1] of the results of computer simulation of the processes which occur when a salton hits into a sand surface.

To estimate the mean velocity of sand grain flow in the near-surface layer, let us use the shear velocity which is applied for describing motion in the case of shears associated with gas flow. The shear velocity, which is also known as the friction speed [10], represents a form using which the shear stress can be rewritten in terms of the velocity units, viz. $u^* = (\tau / \rho)^{1/2}$ where τ is the shear stress in an arbitrary wind layer and ρ is the air density. The general rule is that the rate of shear is about 1/10 of the mean flow velocity.

Fig. 7 presents calculated and measured dependences of the mean hop distance l of sand grains (diagram a: the circles and squares correspond to the data of papers [14] and [7], respectively) and mean height z_m of the grain transportation layer (diagram b: the circles and squares correspond to the data given in papers [5] and [14], respectively) in the flow of Aeolian transportation on the shear velocity [7]. The experimental results of measuring the mean hop distance and height of the sand grain flow due to Aeolian transportation convincingly show that the process of Aeolian transportation developed. A further increase of the wind speed results in increasing the flight speed and hop distance of the saltons (and hence — in increasing the sand ripple length; see the dash line in Fig. 7 a). At the same time, the effect is not accompanied by lengthening the mean hop distance of the sand grains because of essential increase of the relative contribution of the ejected slow

increasing the wind speed, one can observe a limitation of the mean height of the sand grain flow due to strengthening the electric field influence (see Fig. 7 b). At that, the mean slope of the flight trajectory of the charged sand grains can be estimated from the data presented in Fig. 7 to be equal to $\sim 30^\circ$.

Analysis of the data makes it possible to explain the specific features of the effects of anomalously narrow-beam backscattering of radio waves.

In the case where the near-surface wind speed is less than 2 m/s, at the stage of origination of the anomalous narrow-beam scattering, the saltons are characterized by a low flight speed and hence, “splashes” are accompanied by ejecting of a minimum number of reptons. Here, the mean slope of the flight trajectory of the charged sand grains that determines the slope of the ionized space boundary which borders the sand ripple [8] and is responsible for the “strong” radar scattering, is determined by both the saltons and reptons. This effect is clearly seen in Figs. 4, c and d where the local maxima of the backscattering appear in a wider range of the Θ angles (28.5 to 31.5°).

The contribution of the reptons increases considerably with the wind speed, and the slope of the ionized range boundary is mainly determined by their flight trajectories. Since the exit angle with respect to the horizon (and hence, the repton flight trajectory) depends but very slightly on the angle of salton incidence upon the sand bed [1], the processes of the sand transportation over slanting skew surfaces of sand dunes covering the desert do not lead to broadening the angular sector of the backscatter intensity. The characteristic angular width of the $\sigma(\Theta)$ dependence

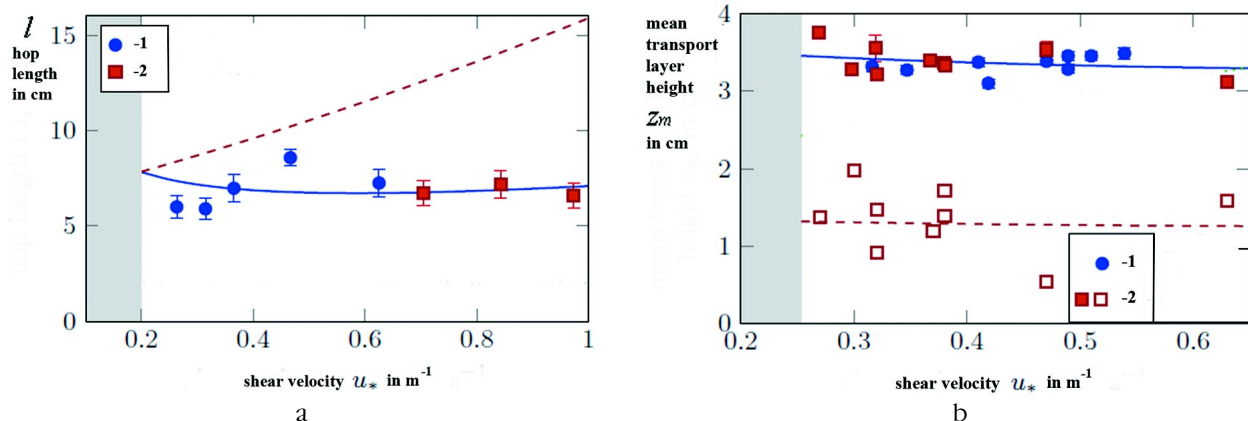


Fig. 7. Calculated and measured dependences of the mean hop distance of sand grains (a) and mean height (b) of the grain layer in the flow of Aeolian transportation on the shear velocity [13]

reptons. Specifically, the flight height of the reptons is considerably lower than that of the saltons, and the exit angle (and, accordingly, the flight trajectory with respect to the horizon) depends but very slightly on the incidence angle of the saltons upon the sand bed (within the range $8...15^\circ$ with respect to the horizon [1]). With

for the anomalously narrow-band backscattering does not exceed 0.5 to 1° at a 3 dB level.

The experimentally proven fact that the knocked-out reptons escape in different directions in a semicircle [9] explains the rather weak dependency of the intensity of anomalously narrow-beam backscat-

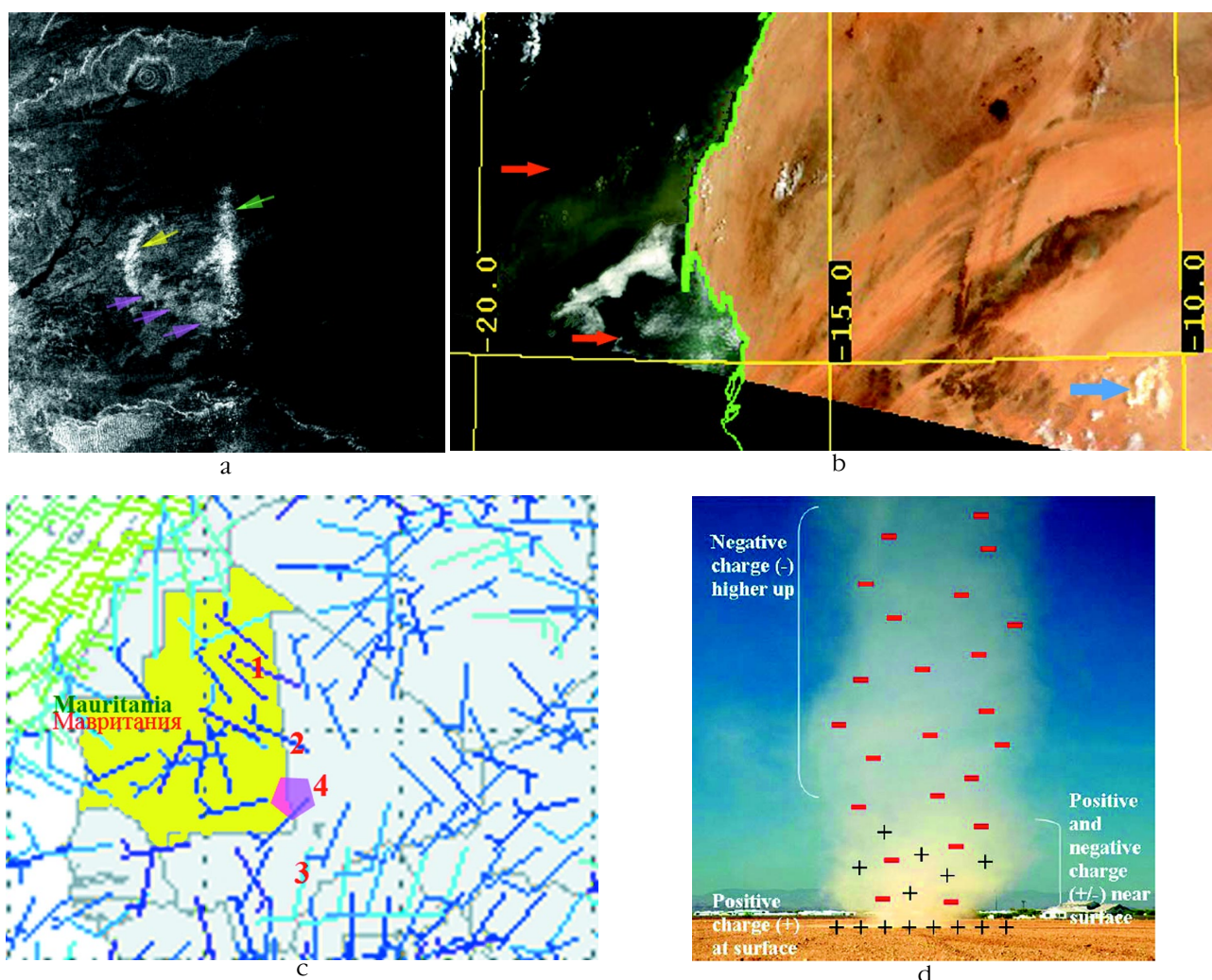


Fig. 8. Radar image (fragment of the radar image Envisat-1 ASA_GM1_1P (© ESA) obtained on June 27, 2005) of the mesoscale eddies (a). Optical image of Mauritania region (satellite MODIS [11]) (b). Meteorological data map (c) [2]: 1 — wind velocity vector near surface, 2 — wind velocity vector at a height of 10 meters, 3 — wind velocity vector at a height of 15 meters, 4 — approximate position of the center of the vortex. Schematic representation of the lifting of the charged grains of sand in the atmospheric vortex (d) [10]

tering on the wind direction relative to the direction (in the azimuthal plane) of radar illumination of the surface. In the case of downwind illumination, the effect has not been observed [8].

Aeolian transportation of sand and dust-laden air upon the surface under appropriate conditions of atmospheric stratification (e. g., updrafts produced in the vortex formation) is capable of raising dust up to high altitudes [6] and spreading it over vast distances by means of strong wind currents in the upper atmosphere layers. For instance, Fig. 8 a shows the radar image (fragment of the Envisat-1 ASA_GM1_1P (© ESA) radar image obtained on June 27, 2005) of mesoscale eddies. At the same time, Fig. 8 b — optical image (satellite MODIS [11]) — shows that raised by the eddies dust masses are transported over the ocean surface (marked with red arrows). Fig. 8 a illustrates the fact that the vortex atmospheric processes are observed not only as near-surface transport processes of sand-dust mixtures (marked with a green arrow), but also as the rise of masses of

intensive charged sand particles into the atmosphere (indicated by yellow and purple arrow). The presence of a dangerous for health concentrations of dust in the air that day was also confirmed by measurements in Nouakchott [15]. Atmospheric vortex existence in this area was confirmed by meteorological data Fig. 8 c [2] and by specific cloud formation (in the form of the Greek letter “λ”) marked by the blue arrow in Fig. 8 b.

Conclusion

The paper presents the first results of the development of a radar-based technique for identification of desert regions in which the dust from the surface is transported up into the atmosphere as a result of Aeolian processes. The work has been performed using ESA archive data of radar remote sensing images of deserts of Mauritania obtained by the SAR Envisat-1 between 2004 and 2012. In particular, an analysis has been provided for the specific artifacts observed on the radar

images due to manifestation of the anomalous effects of narrow-beam backscattering of radio waves which occur in the course of the Aeolian transportation of the sand-dust mixture.

The specific details of manifestation in the radar images of the narrow-beam backscattering effects on Aeolian processes were analyzed in respect to the near-surface wind speed and relationship between directions of the wind and the directions of radar illumination of the Earth's surface. The peculiarities of the formation of the ionized layer boundary, which borders sandy ripple structures, in the course of the Aeolian transportation of the sand-dust mixture have been considered. It is considered the model assuming the ionization is produced by a strong inhomogeneous electric field which is generated due to Aeolian transportation of charged sand grains, specifically saltons and reptons, over the sand bed. Within the model, the obtained estimates have made it possible to propose the physical explanation of the measured angular dependences between the cross-sections of the investigated radar images of the desert regions with Aeolian transportation processes and combinations of wind and radar illumination directions, as well as determine the optimum conditions for observations of the effects of the anomalously narrow-beam backscattering of radio waves. It has been demonstrated that the radar-based technique of earth remote sensing is capable of detecting these effects starting from very low speeds of the near-surface wind (~ 2 m/s) within a sufficiently broad range of the directions of surface illumination (not less than 90° with respect to the wind direction) within the azimuthal plane. In order to ensure the high efficiency of radar systems for identification of desert regions where dust from the surface is transported up into the atmosphere, it is necessary to ensure the radar systems are capable of operating in the mode of sequential observation of desert regions in the illuminating beam incidence angle range of about $\Theta = 30^\circ$.

Acknowledgement

The study has been supported within the ESA Project ID: C1F30193.

References

1. Anderson R. S. Wind modification and bed response during saltation of sand in air / R. S. Anderson and P. K. Durham // *Acta Mechanica, Mechanics*. — 1991. — №1. — P. 21–54.
2. Archive data of the meteorological website [Electronic resource]. — Access mode: <http://www.wetter3.de/Archiv/index.html> (in German).
3. Carneiro M. V. Midair collisions enhance saltation / M. V. Carneiro, N. A. M. Araújo, T. P. Htz, and H. J. Herrmann // [Electronic resource]. — Access mode: [arxiv:1212.4603v2](https://arxiv.org/abs/1212.4603v2) [physics.ao-ph].
4. Geological activity of the wind. [Electronic resource]. — Access mode: [www/URL: http://helpiks.org/1-55062.html](http://helpiks.org/1-55062.html) (in Russian).
5. Blumberg D. G. Field Measurements of the Flux and Speed of Wind-Blown Sand / D. G. Blumberg and S. H. Williams // *Sedimentology*. — 1996. — Vol.43. — №1. — P. 41–52.
6. Herrmann L. The importance of source region identification and their properties for soil-derived dust: the case of Harmattan dust sources for eastern West Africa / L. Herrmann, K. Stahr, and R. Jahn // *Contributions to Atmospheric Phys.* — 1999. — № 72(2). — P. 141–150.
7. Ho T. D. Aeolian sand transport: Length and height distributions of saltation trajectories / T. D. Ho, A. Valance, P. Dupont, and A. Ould // *Aeolian Res.* — 2014. — №12. — P. 65–74.
8. Ivanov V. K. Radar monitoring of aeolian sand and dust transporting manifestations in desert areas / V. K. Ivanov, A. Ya. Matveyev, V. N. Tsymbal, and S. Ye. Yatsевич // *Physical Bases of Instrumentation*. — 2015. — Vol.4, №. 1. — P. 63–77 (in Russian).
9. Ivanov V. K. Radar identification of desert regions - sources of dust saturation of the atmosphere / V. K. Ivanov, A. Ya. Matveev, V. N. Tsymbal, S. E. Yatsевич, D. M. Bychkov // *Physical Bases of Instrumentation*. — 2015. — Vol.4, №. 4. — P.48–58 (in Russian).
10. Kok J. F. Electrostatics in wind-blown sand [Electronic resource] / J. F. Kok and N. O. Renno // — Access mode: <http://arxiv.org/pdf/0711.1341>.
11. LAADS Web — Granule Browser [Electronic resource]. — Access mode: https://ladsweb.nascom.nasa.gov/browse_images.
12. Lämmel M. A two-species continuum model for aeolian sand transport / M. Lämmel, D. Rings and K. Kroy // *New J. of Phys.* — 2012. — №14. — p. 093037 (24 p.).
13. Lämmel, M. Analytical mesoscale modeling of aeolian sand transport [Electronic resource] / M. Lämmel, A. Meiwald, and K. Kroy. — Access mode: arxiv.org/pdf/1405.0624.
14. Namikas S. L. Field measurement and numerical modelling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach / S. L. Namikas // *Sedimentology*. — Vol. 50. — № 2. — P. 303–326.
15. Ozer P. Dust in the Wind and Public Health: Example from Mauritania / P. Ozer // *Int. Conf. Desertification, Migration, Health, Remediation and Local Governance*, Royal Academy for Overseas Sciences United Nations Brussels. — 2006. — P. 55–74.
16. Williams K. K. Laboratory and field measurements of the modification of radar backscatter by sand / K. K. Williams and R. Greeley // *Remote Sensing of Environment*. — 2004. — №89. — P. 29–40.

КОСМІЧНА РАДІОЛОКАЦІЙНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПУСТЕЛЬНИХ ОБЛАСТЕЙ ДЖЕРЕЛ НАСИЧЕННЯ ПИЛОМ АТМОСФЕРИ

В. К. Іванов, О. Я. Матвеев, В. М. Цимбал, С. Є. Яцевич та Д. М. Бичков

Атмосферний пил представляє собою суміш найменших часток різноманітних солів та мінералів. Він містить також рештки рослинних та тваринних організмів, спори хвороботворних мікробів і т. п. Вітрами він переноситься на значні відстані і його присутність в атмосфері є одним із факторів що суттєво впливає на клімат планети. В поточний час для космічного моніторингу еолових процесів та їх наслідків використовуються тільки багатозональні оптичні системи (TOMS, METEOSAT, MODIS та т. п.), які не дозволяють надійно і незалежно від хмарності, освітлення та прозорості атмосфери ідентифікувати самі райони джерела підняття пилу до атмосфери та слідкувати за динамікою еолових процесів. Таке завдання дозволяють вирішувати космічні радіолокаційні системи ДЗЗ.

В статті представлені перші результати відпрацювання радіолокаційного методу ідентифікації пустельних областей, в яких відбувається еоловий процес підйому пилу з поверхні в атмосферу. Для відпрацювання методу використані калібровані дані радіолокаційного дистанційного зондування (ДЗ) пустель Мавританії ASAR Envisat-1, що надані ESA в рамках виконання проекту ID: C1F30193. Для ідентифікації джерел підйому пилу використані прояви аномально вузькоспрямованого зворотного розсіювання радіохвиль, що виникали при локальних кутах опромінення поверхні $\Theta \sim 30^\circ$. Проаналізовано особливості проявлення на радіолокаційних зображеннях аномально вузькоспрямованого зворотного розсіювання радіохвиль при різних швидкостях при поверхневого вітру та різних співвідношеннях напрямку вітру та радіолокаційного опромінення поверхні. Показано, що характеристики розсіювання добре узгоджуються з особливостями формування границі іонізованого шару, який облямовує структури піщаних бриж в процесі їх формування при еоловому переносі піщано-пилової суміші. При цьому іонізація викликається потужним неоднорідним електричним полем, що виникає за рахунок переміщення по повітрю над піщаною підкладкою негативно заряджених піщинок — салгонів та рептонів. Відмічено, що радіолокаційне ДЗ дозволяє виявляти райони підняття пилу в атмосферу навіть на етапі зародження процесу незалежно від освітлення, стану хмарного покриву та запилованості атмосфери.

Ключові слова: космічне радіолокаційне спостереження, атмосферний пил, вузькоспрямоване розсіювання радіохвиль, еоловий перенос піску та пилу, виявлення районів підняття пилу в атмосферу, піщані брижі, іонізація, електричне поле

КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПУСТЫННЫХ ОБЛАСТЕЙ ИСТОЧНИКОВ НАСЫЩЕНИЯ ПЫЛЬЮ АТМОСФЕРЫ

В. К. Иванов, А. Я. Матвеев, В. Н. Цымбал, С. Е. Яцевич и Д. М. Бычков

Атмосферная пыль представляет собой смесь мельчайших частиц различных солей и минералов. Она содержит также остатки растительных и животных организмов, споры болезнетворных микробов и т. п. Ветрами она переносится на значительные расстояния и ее присутствие в атмосфере является одним из факторов, существенно влияющим на климат планеты.

В настоящее время для космического мониторинга эоловых процессов и их последствий используются только многозональные оптические системы (TOMS, METEOSAT, MODIS и т. п.), которые не позволяют надежно и независимо от облачности, освещенности и прозрачности атмосферы идентифицировать сами районы источники поднятия пыли в атмосферу и следить за динамикой эоловых процессов. Такую задачу позволяют решить космические радиолокационные системы ДЗЗ.

В статье представлены первые результаты отработки радиолокационного метода идентификации пустынных областей, в которых происходит эоловый процесс подъема пыли с поверхности в атмосферу. Для отработки метода использованы калиброванные данные радиолокационного дистанционного зондирования (ДЗ) пустынь Мавритании ASAR Envisat-1, предоставленные ESA в рамках выполнения проекта ID: C1F30193. Для идентификации источников подъема пыли использованы проявления аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн, возникавшие при локальных углах облучения поверхности $\Theta \sim 30^\circ$. Проанализированы особенности проявления узконаправленного обратного аномального рассеяния радиоволн на радиолокационных изображениях при различных скоростях приповерхностного ветра и разных соотношениях направлений ветра и радиолокационного облучения поверхности. Показано, что характеристики рассеяния хорошо согласуются с особенностями формирования границы ионизированного слоя, окаймляющего структуры песчаной ряби в процессе ее формирования при эоловом переносе песчано-пылевой смеси. При этом ионизация вызывается сильным неоднородным электрическим полем, возникающим за счет перемещения по воздуху над песчаной подложкой отрицательно заряженных песчинок — салтонов и рептонов. Отмечено, что радиолокационное ДЗ позволяет выявлять районы поднятия пыли в атмосферу даже на этапе зарождения процесса независимо от освещенности, состояния облачного покрова и запыленности атмосферы.

Ключевые слова: космическое радиолокационное наблюдение, атмосферная пыль, узконаправленное обратное рассеяние радиоволн, эоловый перенос песка и пыли, выявление районов поднятия пыли в атмосферу, песчаная рябь, ионизация, электрическое поле.

Пам'яті Олексія Ілліча Сахацького



З глибоким сумом сповіщаємо: 5 листопада 2016 року раптово пішов з життя відомий вчений — гідрогеолог та фахівець у галузі дистанційного дослідження Землі, доктор геологічних наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, завідувач лабораторією Державної установи “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”

ОЛЕКСІЙ ІЛЛІЧ САХАЦЬКИЙ.

Олексій Ілліч народився 04. 11. 1954 року у Києві. Навчався у двох школах: загальноосвітній, яку він закінчив з медаллю, та музичній. Під впливом батька обрав професію геолога і 1972 року успішно здав вступні іспити до геологічного факультету Київського університету. У 1977 році він закінчив навчання в Університеті, отримавши диплом з відзнакою. Водночас захистив диплом перекладача англійської мови.

Після захисту диплома Олексій Ілліч працював в Інституті геологічних наук НАН України, у відділі тепломасопереносу в земній корі, а з 1992 року — у Державній установі “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, де з 2011 року очолював Лабораторію дослідження природних ресурсів дистанційними методами.

Олексій Ілліч все життя самовіддано, цілеспрямовано, наполегливо працював, освоюючи нові напрямки науки. Результатами цієї праці стали успішні захисти дисертацій, спочатку кандидатської (1990 рік), за спеціальністю “Гідрогеологія”, а потім (2009

рік) — докторської, за спеціальністю “Дистанційні дослідження Землі”. До сфери його наукових інтересів, зокрема, входили питання, пов'язані з моделюванням на ЕОМ прямих та обернених задач геофільтрації, процесів енергомасообміну в земній корі для оцінки запасів підземних вод, глибинного тепловідбору, захисту підземних вод від забруднення тощо.

Починаючи з 1992 року Олексій Ілліч почав займатися дешифруванням космічних знімків, проблемами використання даних ДЗЗ для вирішення природоресурсних та природоохоронних задач, моделюванням енергомасообміну у геосистемах з урахуванням даних ДЗЗ (з використанням ГС-технологій) на основі сучасних програмних засобів. Він розробив ряд власних методичних підходів та програмних засобів для вирішення вказаних питань.

В останні 10 років Олексій Ілліч особливо багато уваги приділяв розробці методики прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за даними багатозональних космічних знімків.

Результати своїх робіт Олексій Ілліч опублікував більше ніж у ста статтях та монографіях.

Олексій Ілліч був відповідальним виконавцем ряду національних та міжнародних проектів по дослідженню екологічного стану територій на основі використання космічних знімків. Він брав участь у виконанні міжнародних проектів з оцінки екологічного стану рослинного покриву Чорнобильської зони відчуження, а також стану довкілля після катастрофи на АЕС “Фукусіма”.

Олексій Ілліч — лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки 2005 року, його нагороджено Почесною грамотою Президії НАН України та Центрального комітету профспілки працівників НАН України (1996 рік), він отримав премію Республіканського науково-економічного товариства (1982 рік).

Олексій Ілліч був яскравою особистістю, відзначався відданістю своїй справі, винятковою працездатністю і відповідальністю. Світлий образ цього талановитого вченого, інтелігентної та чуйної людини назавжди залишиться у наших серцях.

*Колектив співробітників Державної установи
“Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук Національної
академії наук України”*

Редакційна колегія “Геологічного журналу”

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/>).

Представлення рукописів. Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua. До рукопису додають акт експертизи установи де виконана робота, відомості про авторів (ім'я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступінь та вчене звання, повна офіційна назва установи, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (скан у форматі JPEG або PDF) (Додаток).

Загальні вимоги. Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати результати досліджень а не перелік питань, що розглядаються 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 та ключові слова двома мовами, (російською та англійською, українською та англійською, українською та російською, відповідно до мови статті).

Оформлення рукопису. Формат документу — Word 97–2003. Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення (фактичне!) 300 dpi/inch у форматі документа. Формат документу — A4.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті
- Ініціали та прізвище автора (авторів)
- Повна офіційна назва установи (установ) де виконано роботу, місто, країна (якщо автори працюють у різних установах *перед* назвою установи та *після* прізвища автора ставлять однакову цифру (верхній індекс)
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед нею та після прізвища відповідального автора ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті (слово “Резюме” не пишуть)
- Ключові слова мовою статті
- Знак авторського права, ініціали та прізвища авторів. Рік
- Текст статті
- Список літератури (“Література”)
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме, а також ключові слова двома мовами окрім мови статті (мається на увазі, що йдеться про три мови: українську, російську та англійську)

Текст. Якщо Ви пишете українською мовою зверніть увагу на відмінювання прізвищ які закінчуються на приголосний або **о**. Адже жіночі прізвища не відмінюються, а чоловічі обов'язково відмінюються.

Формули набирайте у редакторі Microsoft Equation і не вставляйте їх у текст як зображення. Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат таблиць — MS Word..

Ілюстрації (знімки, діаграми, схеми) вмонтовують у документ Word і представляють їх *окремими файлами* у форматі TIFF. Розрізнення — 300 dpi/inch у масштабі публікації. Рисунки повинні мати умовні позначення, наприклад, у вигляді прямокутників з цифрою поруч. *Назву рисунка та пояснювальні надписи треба винести у текст.*

Література. Список літератури складають відповідно до ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

Посилання на літературне джерело подають у квадратних дужках. У дужках вказують порядковий номер роботи, яку включено у список джерел.

Список літератури складають за абеткою (алфавітом).

Авторська згода

Автори, направляючи рукопис у редакцію Українського журналу дистанційного зондування Землі, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист і використання рукопису (журналу переданого до редакції 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 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 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 залишається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітянських 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

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

Данные Правила составлены на основе “Требований ВАК Украины к научной статье, опубликованной в научном издании” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а также “Положения об электронных научных изданиях” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Редакция рассматривает и принимает материалы на украинском, русском и английском языках с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации.

Представление рукописей. Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua.

К рукописи прилагается акт экспертизы учреждения, где выполнена работа, сведения об авторах (учреждения, должности, научные степени и ученые звания), а также “Авторское соглашение” за подписью ответственного автора (скан в формате JPEG/PDF см. Приложение).

Общие требования. Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstract), а также ключевые слова (keywords). Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на украинском и русском, соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи. Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch. Размер

страницы — А4. Текст форматируют *без переносов, абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки.*

Структура рукописи

- УДК
 - Название статьи (желательно без аббревиатур)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов)
 - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях, *перед* названием учреждения и *после* фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)
- Электронный адрес или тел/факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)
 - Резюме на языке статьи (слово “Резюме” не пишут)
 - Ключевые слова на языке статьи
 - © (знак авторского права), инициалы и фамилии автора/авторов. Год
 - Текст статьи
 - Список литературы (“Литература”)
 - Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstract), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

Таблицы, формулы. Формат таблиц в тексте — MS Word. Формулы следует набирать в редакторе *Microsoft Equation* и не вставлять их в текст в виде изображений.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

Иллюстрации. Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вмонтируют в документ Word и представляют *отдельными файлами* в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi/inch в масштабе

публикации. Рисунки должны иметь условные знаки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. *Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.*

Литература. Список литературы составляют в

соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Ссылки на литературный источник в тексте подают в квадратных скобках. Список литературы делают *по алфавиту*. В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — на иных языках — в порядке латинского алфавита.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Авторское соглашение (документ должен быть подписан ответственным автором публикации)

Авторы, направляя рукопись в редакцию “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”, соглашаются с тем, что редакции передаются права на защиту и использование рукописи (переданного в редакцию журнала материала, в т. ч. такие охраняемые объекты авторского права как фотографии автора, рисунки, схемы, таблицы и т. д.), в том числе на воспроизведение в печати и в сети Интернет; на распространение; на перевод рукописи на любые языки; экспорта и импорта экземпляров журнала статьи авторов с целью распространения, на доведение до всеобщего сведения. Указанные выше права авторы передают редакции без ограничения срока их действия и на территории всех стран мира без ограничения, в т. ч. на территории Украины. Авторы гарантируют наличие у них исключительных прав на использование переданного редакции материала. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных авторами гарантий. За авторами сохраняется право использования опубликованного материала, его фрагментов и частей в личных, в том числе научных и образовательных целях. Права на рукопись считаются переданными авторами редакции с момента подписания в печать выпуска журнала, в котором он публикуется. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, другими физическими и юридическими лицами возможно только с согласия редакции, с обязательным указанием выпуска журнала, в котором был опубликован материал.

Я, (ответственный автор), подтверждаю, что я в достаточной степени участвовал в разработке концепции/дизайна этой работы, анализе данных, а также написании рукописи для принятия ответственности за это. Я ознакомлен с окончательным вариантом рукописи и утвердил его для публикации. Ни одна рукопись с аналогичным содержанием не была опубликована под моим авторством и не рассматривается для публикации в других изданиях. Я также ознакомлен с вышеуказанными условиями опубликования рукописи и принимаю их.

Дата, подпись