



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

4' 2015



Починаючи з третього номеру нашого журналу, в ньому публікується електронна версія монографії “Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки”, створеної колективом авторів Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Українського гідрометеорологічного центру та Національного університету “Кієво-Могилянська академія” під редакцією академіка НАН України В. І. Лялька (Київ, видавництво “Наукова думка”, 2015 р.).

В цій роботі представлено результати теоретико-методичних обґрунтувань та польових інструментальних вимірів спектра та газометричних характеристик довкілля, співставлених з матеріалами тематичної інтерпретації багатоспектральних космознімків.

Також викладено результати співставлення визначення балансу парникових газів, зокрема CO_2 , в Україні традиційними та дистанційними методами і запропоновано рекомендації по більш широкому застосуванню космічних технологій для вирішення проблем впливу змін клімату на стан довкілля та соціо-економічні процеси в Україні.

Книга може слугувати довідником для широкого кола фахівців та адміністраторів, що займаються вирішенням подібних проблем не лише в Україні, але й за її межами.

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

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

2015 • № 4

Засновник:
Національна Академія наук України
Науковий центр аерокосмічних
досліджень Землі
Інституту геологічних наук
НАН України

Електронний
науковий фаховий журнал.
Заснований у березні 2014 року.
Виходить щоквартально.
Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
E-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Секретар редакції О. В. Седлєрова / тел. +380 44 484 04 85 / sedlerovaolga@gmail.com

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

Редактор сайту А. Ю. Порошкевич / 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.

ЗМІСТ

Методи, засоби та технології обробки та інтерпретації аерокосмічної інформації

RISK ASSESSMENT OF ADSORBED RADIONUCLIDE EMISSION BY FIRE WITHIN FUKUSHIMA EXCLUSION ZONE USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGERY

Sergey Stankevich, Aleksey Sakhaty, Dmitry Bobro, Akira Iwasaki, Shinichi Nakasuka, Seiji Yoshimoto, Yoshihide Aoyanagi 4

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ КАК МУЛЬТИ-МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ (НА ПРИМЕРЕ ОЦЕНКИ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТИ УЧАСТКОВ КАСПИЙСКОГО ШЕЛЬФА ТУРКМЕНИСТАНА)

А. В. Соколовская, А. Д. Федоровский 10

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

ЛАНДШАФТНАЯ КАРТА ПОЛУОСТРОВА ВЕСЛОВСКИЙ (ОСТРОВ КУНАШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

М. Ю. Грищенко, А. М. Карпачевский, Г. М. Леонова 26

ДИСТАНЦІЙНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗВАЛИЩ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

В. Є. Філіпович, О. І. Кудряшов, А. Г. Мичак 32

ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІЩЕННЯ БУЛЬБАШОК ГАЗУ ПРИ СПЛИВАННІ З ДНА ДО ПОВЕРХНІ МОРЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В. І. Лялько, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман 37

Анонс. Розділи монографії

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ (РОЗДІЛ 2)

В. І. Лялько, О. О. Халаїм, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, М. В. Ваколюк, С. С. Дугін 46

Правила та рекомендації для авторів

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ (UA) 75

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ (RU) 78

УДК 502.5:630*431.5:528.854

Risk assessment of adsorbed radionuclide emission by fire within Fukushima exclusion zone using multispectral satellite imagery

Sergey Stankevich ^{1*}, Aleksey Sakhatsky ¹, Dmitry Bobro ², Akira Iwasaki ³, Shinichi Nakasuka ³, Seiji Yoshimoto ³, Yoshihide Aoyanagi ³

¹ Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Ukraine

² National Institute for Strategic Studies, Ukraine

³ University of Tokyo, Japan

The radionuclide emission risk assessment is very important to mitigate the impact of a nuclear accident. Based on the experience in Chernobyl, we evaluated risks in Fukushima exclusion zone for long term management using remote sensing and empirical radionuclide data. The possible emission of plant-accumulated radionuclide is incorporated into the known models for wildfire ignition and spread. Satellite data acquiring enables continuous monitoring of wildfire hazard.

Keywords: remote sensing, multispectral imagery classification, fire risk, radionuclide emission, Fukushima exclusion zone
© Sergey Stankevich, Aleksey Sakhatsky, Dmitry Bobro, Akira Iwasaki, Shinichi Nakasuka, Seiji Yoshimoto, Yoshihide Aoyanagi. 2015

1. Introduction

Satellite monitoring is an important and useful tool for natural resources state assessment inside the exclusion zone, as well as an effective way of the potential hazards risks mapping. One of the most dangerous hazard is the fire emergence on the areas contaminated with radionuclides. In this case, the radionuclides adsorbed by plants will be emitted up to atmosphere that would be resulted in the contamination zone expansion. Fire threat grows especially inside territories left unattended. The threat of dangerous secondary emission of radionuclides due to a wildfire in Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ) still up to now [4]. This threat has strengthened in the summer of 2012, 2013, and 2014.

In previous work the fire risk assessment in the Chernobyl exclusion zone using satellite data (SPOT-4, 14.07.1998) was carried out on a nominal level without the use of the presented model of the risk of secondary contamination with radionuclides. The segmentation of the area concerning the fire risk (high, medium, low level) was based on the classification of satellite image with the identification of plots where the pine forests affected by pine moth. These forests are deadwood in severe and in some cases even with medium stage of impact. Besides the water index calculated according SPOT-4 also was considered for evaluation, of land cover moisture [9].

The paper is organized as follows. Section 2 describes a numerical model for fire risk assessment. Section 3 presents ecological analysis and classification of the basic types of biotopes within the study area. Section 4 discusses the preliminary results obtained by multispectral satellite imagery processing. Section 5 makes this research conclusions.

2. Risk assessment model

Main score values of fire danger in mapping of radionuclide emission risk should be considered an ignition probability P and a fire potential area A [2]. In this case the risk at the point (x, y) of a possible fire accident can be evaluated as

$$Risk(x, y) = P(x, y) \cdot Z(x, y), \quad (1)$$

where $Z(x, y)$ is the adsorbed radionuclide content in vegetation fuel per area unit. Accordingly, the radionuclide emission total hazard within A will be

$$Hazard(A) = \int_A P(x, y) \cdot Z(x, y) dx dy. \quad (2)$$

Hazard prescribe in integral form (2) requires quite a sophisticated geospatial simulation taking into account terrain elevations, wind direction, natural fuel specifications, etc. Typically, many of these data are unavailable or highly dynamic. Therefore, we had to accept a significant simplification of the model. In particular, if we consider the rate of fire spread R over ground as uniformly isotropic, and spatial distribution of the radionuclide content as constant, then the (2) equation may be rewritten

$$Hazard(x, y) = \pi P(x, y) \cdot Z(x, y) \cdot [R(x, y) \cdot dt]^2, \quad (3)$$

where dt is the time period of analysis. It is obvious that dt cannot be too large.

3. Fire spread model

To evaluate the ignition probability the Schroeder's (1969) spontaneous ignition model [14] and the Latham's (1979) model of ignition by lightning [8] were used:

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

$$P'(x, y) = \frac{0.000048 \chi^{4.3}(x, y)}{50}, \quad (4)$$

where $P'(x, y)$ is the spontaneous ignition probability,

$$\chi(x, y) = \frac{400 - Q'(x, y)}{10}, \quad (5)$$

where $Q'(x, y)$ is the heat of preignition, the energy per unit mass required for ignition, which approximated as

$$Q'(x, y) \approx 138.77 + 619.57w(x, y), \quad (6)$$

where $w(x, y)$ is vegetation water content fraction.

$$P''(x, y) \approx 0.64 \exp[-0.072w(x, y)] \quad (7)$$

is the probability of ignition by lightning approximation. Aggregated probability of ignition was calculated as the joint probability of independent events:

$$P(x, y) = 1 - [1 - P'(x, y)][1 - P''(x, y)]. \quad (8)$$

The rate of fire spread is described by Rothermel's (1972) fire spread model with minor adjustments by Albini (1976) [12]:

$$R(x, y) = \frac{I(x, y) \xi(x, y) [1 + u(x, y) + s(x, y)]}{\rho(x, y) \varepsilon(x, y) Q(x, y)}, \quad (9)$$

where $I(x, y)$ is reaction intensity, the energy release rate per unit area of fire front, $\xi(x, y)$ is a propagating flux ratio, $u(x, y)$ is a wind multiplier, $s(x, y)$ is a slope multiplier, $\rho(x, y)$ is an amount of fuel per unit volume, $\varepsilon(x, y)$ is an ignition proportion, $Q(x, y)$ is the heat of preignition. The main variables in (9) are determined by the following semi-empirical equations:

$$I(x, y) = \Gamma(x, y) \cdot m(x, y) \cdot b(x, y) \cdot [1 - w(x, y)] \cdot \eta, \quad (10)$$

where $\Gamma(x, y)$ is reaction velocity, the energy release rate per unit area of fire front, $m(x, y)$ is a net fuel loading, $b(x, y)$ is the heat content of the fuel, commonly $b = 19.6 \dots 21.4$ MJ/kg for dry vegetation and $b \approx 10$ MJ/kg for fresh one; η is a mineral damping coefficient, its normal value is $\eta = 0.3074 \dots 0.3207$;

$$\Gamma(x, y) \approx \Gamma_{\max}(x, y) \cdot \exp[8.0933\sigma(x, y)^{-0.8189}], \quad (11)$$

$$\Gamma_{\max}(x, y) \approx [0.0591 + 2.926\sigma(x, y)^{-1.5}]^{-1},$$

where $\sigma(x, y)$ is a surface-area-to-volume ratio of natural fuel. With regard $\frac{m}{\rho} \equiv \delta$ ig fuel depth, the (9) equation becomes

$$R(x, y) = \frac{I(x, y) \xi(x, y) [1 + u(x, y) + s(x, y)]}{\rho(x, y) \varepsilon(x, y) Q(x, y)}, \quad (12)$$

where the following approximations may be used:

$$Q(x, y) \approx 581 + 2594 w(x, y),$$

$$Q(x, y) \approx 581 + 2594 w(x, y), \quad (13)$$

$$\varepsilon(x, y) \approx \exp\left[-\frac{4.528}{\sigma(x, y)}\right] \quad (14)$$

$$\xi(x, y) \approx \frac{\exp[0.792 + 3.7597\sigma(x, y)^{0.5}]}{192 + 7.9095\sigma(x, y)} \quad (15)$$

$$u(x, y) \approx 0.715 \exp[-0.8711\sigma(x, y)^{0.55}] \cdot (3.281v)^{0.15988\sigma(x, y)^{0.54}}, \quad (16)$$

$$s(x, y) \approx 5.275^{-1} \operatorname{tg}^2[\varphi(x, y)], \quad (17)$$

where v is the wind velocity at midflame height, $\varphi(x, y)$ is an angle of slope.

4. Radionuclide transfer model

In the first phase of radioactive contamination spreading after a nuclear accident, directly deposited to vegetation cover radionuclides produce the main contribution to the fire risk [3]. In this case, the quantity of radionuclides emitted by fire is simply proportional to contamination level of the territory:

$$Z(x, y) = \zeta Z_0(x, y), \quad (10)$$

where $Z_0(x, y)$ is a total surface contamination by radionuclides, ζ is a fraction of radionuclides, deposited in vegetation fuel. This value is typically less than 0.1–0.15.

After 1–2 years after a nuclear accident, the main source of radioactive emission in case of fire are radionuclides adsorbed by annuals and perennials from the contaminated soil.

Values of soil to plant radionuclides transfer factors (TF) are significantly different for various soil types [1]. The TF for ^{137}Cs are 7–15 times higher for all vegetation types on the peat-swampy soils than on the soddy-podzolic, 10–20 times higher than on the grey forest, and 15–30 times higher than on the chernozem ones. The TF values for ^{90}Sr are 5 times lower on the grey forest soils and 10 times lower on the chernozems than on the soddy-podzolic soils [7].

One can notice that it is almost impossible to determine experimentally the TF in the year of radionuclides fallouts because plants contamination after the accident is mainly stipulated by the surface radionuclides precipitation. The simulated TF values for the moment of radionuclides fallouts for the ChEZ are given in Table 1 [11, 13].

In addition it is determined that the TF values are decreased at time. And the main factor changing the radiation condition on the contaminated territories is considered to be the radionuclides immobilization with a soil absorbing complex. The velocity of the radionuclides accumulation factors (AF) decrease at the expense of this process for ^{137}Cs and ^{90}Sr is significantly

Table 1The TF values for ^{137}Cs , $\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$

Vegetation type	Peat-swampy soil	Soddy-podzolic soil	Grey forest soil
natural grass	223	29	10
coniferous forest	0.02	0.0017	0.0005
broad-leaved forest	0.02	0.002	0.0007

higher, than because of natural decay. So, for the period after the Chernobyl accident, the TF values for radionuclides transfer into plants have decreased for ^{137}Cs by approximately 100 times on the organic soils, by 10–30 times — on the mineral ones; and for ^{90}Sr — by 2–3 times on the mineral soils. At the same time, it is forecasted a significant further slowing-down of auto-rehabilitation processes; and a decrease of plants contamination is supposed to be determined by half-decay periods of ^{137}Cs and ^{90}Sr (Fig. 1).

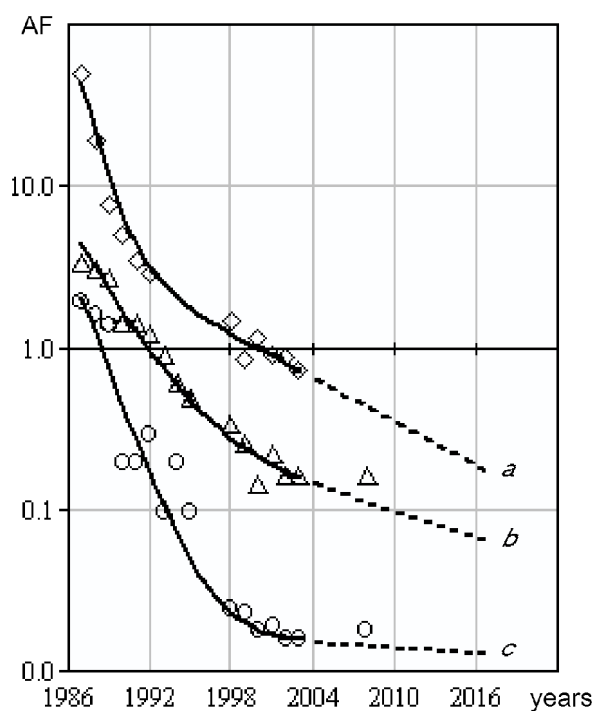


Figure 1. The TF dynamics for ^{137}Cs of natural grass on the peat-swampy soils (a), soddy-podzolic soils (b) and chernozems (c)

As to the forest ecosystems, the character of their radiation contamination is essentially different because of their complicated vertical structure and significant volume of over-ground phytomass. Right after the radionuclides precipitation, their vertical migration starts from the upper phytocenosis layers to the soil surface.

Long-term research of ^{90}Sr and ^{137}Cs distribution in the pine forest biocenosis of the ChEZ shows that the main part of ^{90}Sr and ^{137}Cs (76–83%) is located in the soil, 6–13% is accumulated with the forest bedding, 6–10% is kept in the leaf canopy, and the mossy cover contains the rest (1–5%). The trees' stems are considered to be a main depot for the bulk content of ra-

dionuclides (36–53%) in the over-ground part of forest plants [16].

It is determined that with time, the increase of a specific activity of ^{137}Cs in the majority components of timber stands — sprouts, leaves, bark, wood — occurs in almost all wood species (Fig. 2) [5].

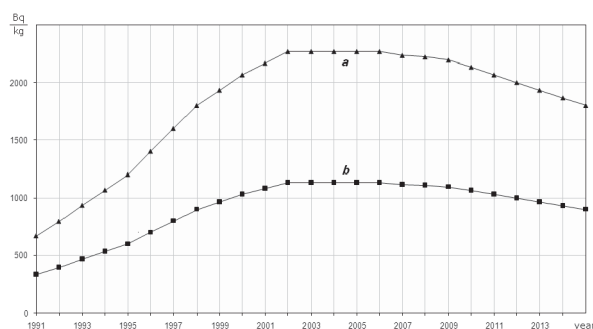


Figure 2. Long-term dynamics of a specific activity of ^{137}Cs in Scotch pine wood when density of radiation contamination of soil equaled 370 kBq/m^2 (a) and 185 kBq/m^2 (b)

5. Study area

Fukushima exclusion zone includes the following types of landscapes: urban/suburban area, abandoned farmlands, coastal area and highland forests.

The study area is clearly divided into plain coastal zone and mountain area. The coastal zone is about 7 km wide in the region of the Fukushima NPP. It is a plain with low hills dissected by shallow and broad valleys of small rivers and streams. Further inland from the coast, the mountainous part begins, where the absolute level of relief achieved approximately 60–90 meters. In the mountainous part the relief reaches of about 1 km above sea level over a distance of about 30 km from the coast. The mountainous part is sufficiently dissected by deep valleys of numerous small rivers and streams. The depth of the valleys is up to several hundred meters (200–300 m).

The mountainous part of the territory and the hills of the plain area are covered by forests. Those are mainly mixed coniferous and broad leaves ever green and deciduous forests. There are areas of homogeneous pine and cedar forests of different ages.

For pre-classification the territory within Fukushima-1 area has been selected. It is about $20 \times 20 \text{ km}$. The classification was carried out on the base of Landsat-5/TM image (<http://earthexplorer.usgs.gov>) on April 5,

2011 (Fig. 1a). During the pre-classification, carried out by different methods, the following classes of land cover have been classified: 1) the mainly coniferous forests; 2) the predominantly broad leaves forests; 3) the mixed forests; 4) the grassy vegetation of meadows on watersheds, river valleys and within abandoned farmlands; 5) the man-made objects; 6) settlements; 7) wet areas of river valleys and abandoned rice paddies; 8) the surface of water bodies (lakes, rivers, ponds).

The classification results by different methods were similar. According to the method of maximum likelihood (ML) and minimum distance (MD) supervised

Table 2
Statistics of land cover classification of study area

Class of land cover	%
red pine forests	26.70
cedar forests	4.86
cypress forests	2.39
black pine forests	0.69
other broad-leaved forests	35.48
larch forests	3.51
oak forests	1.77
meadows	6.53
wetlands	2.17
settlements	4.36
barren lands and man-made surfaces	1.24
water bodies	10.30
Total	100.0

classification (Fig. 1d) the following relation of classes within the land are observed (Table 2).

Mixed forests occupy the largest area, more than 35%, coniferous forests cover the area more than 23%, deciduous forest is about 20%. A large area is occupied also by grassy vegetation of watersheds and river valleys within the meadows and the farmlands (about 15%). Field-survey within Fukushima exclusion zone revealed that there are many abandoned dried rice fields. Other classes take considerably less area.

6. Results and discussion

The developed risk assessment model was applied to test site within Fukushima exclusion zone using Landsat-5/TM multispectral satellite imagery (April 5, 2011, Fig. 3a), ASTER GDEM digital terrain elevations data (DTED, <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>), October 17, 2011, (Fig. 3c) and results of airborne monitoring of cesium surface deposition by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan (<http://www.mext.go.jp/english/incident/1303962.htm>), May 6, 2011, (Fig. 3e). All seven spectral bands of TM sensor have been precalibrated and converted into the land surface spectral reflectance to avoid the influence of solar irradiance and atmosphere. The water content fraction (Fig. 3b) was calculated using the normalized water index (NWI) with the shortwave infrared (SWIR) TM band [10].

The maximum likelihood (ML) and minimum distance (MD) supervised classification were carried out using ground-based truth area of interest (AOI) for each class/subclass. The outputs are shown in Fig. 3d.

Theoretical models of wildfire accident and spread were adapted and debugged using U.S. Forest Service BehavePlus fire behavior simulation system [6]. The values of model parameters to perform computations over the study area were collected from the specifications of the most suitable biotopes, documented by the U.S. Forest Service [15].

As a result the maps of spatial distribution of the point source fire ignition probability (8) and integral hazard of adsorbed radionuclide emission by fire (3) were obtained within the study area. These maps are shown in Fig. 3f and Fig. 3g, respectively.

The greatest risk of radionuclide emission by wildfire within the exclusion zone occurs in the central and north-western parts, mainly inside the cypress and red pine forest biotopes. Integral risk over land cover classes of study area is distributed as shown in Table 3.

Table 3
Average risk of radionuclide emission by wildfire over land cover classes

Class of land cover	Average risk (Ci/min)
red pine forests	23.4
cedar forests	20.3
cypress forests	36.2
black pine forests	14.1
other broad-leaved forests	0.97
larch forests	2.64
oak forests	1.91
meadows	0.51
wetlands	–
settlements	–
barren lands and man-made surfaces	–
water bodies	–
Average over land area	10

Coniferous forests in the foothills within the Fukushima disaster area are under greatest hazard of radionuclide secondary emission. Depending on weather conditions and season the spatial distribution of hazard can be varied significantly.

7. Conclusions

So, we have developed a complete geoinformation technology for quantitative assessment and mapping the risk of radionuclide secondary emission as a result of wildfire inside radioactive contaminated area. Described technology takes into account both the spontaneous ignition probability / fire spread rate and the density of radioactive contamination of ground. Known models of wildfire environment were used, which are based on the natural fuel water content, terrain elevations data, wind conditions and soil-to-vegetation radionuclide transfer. A significant sea-

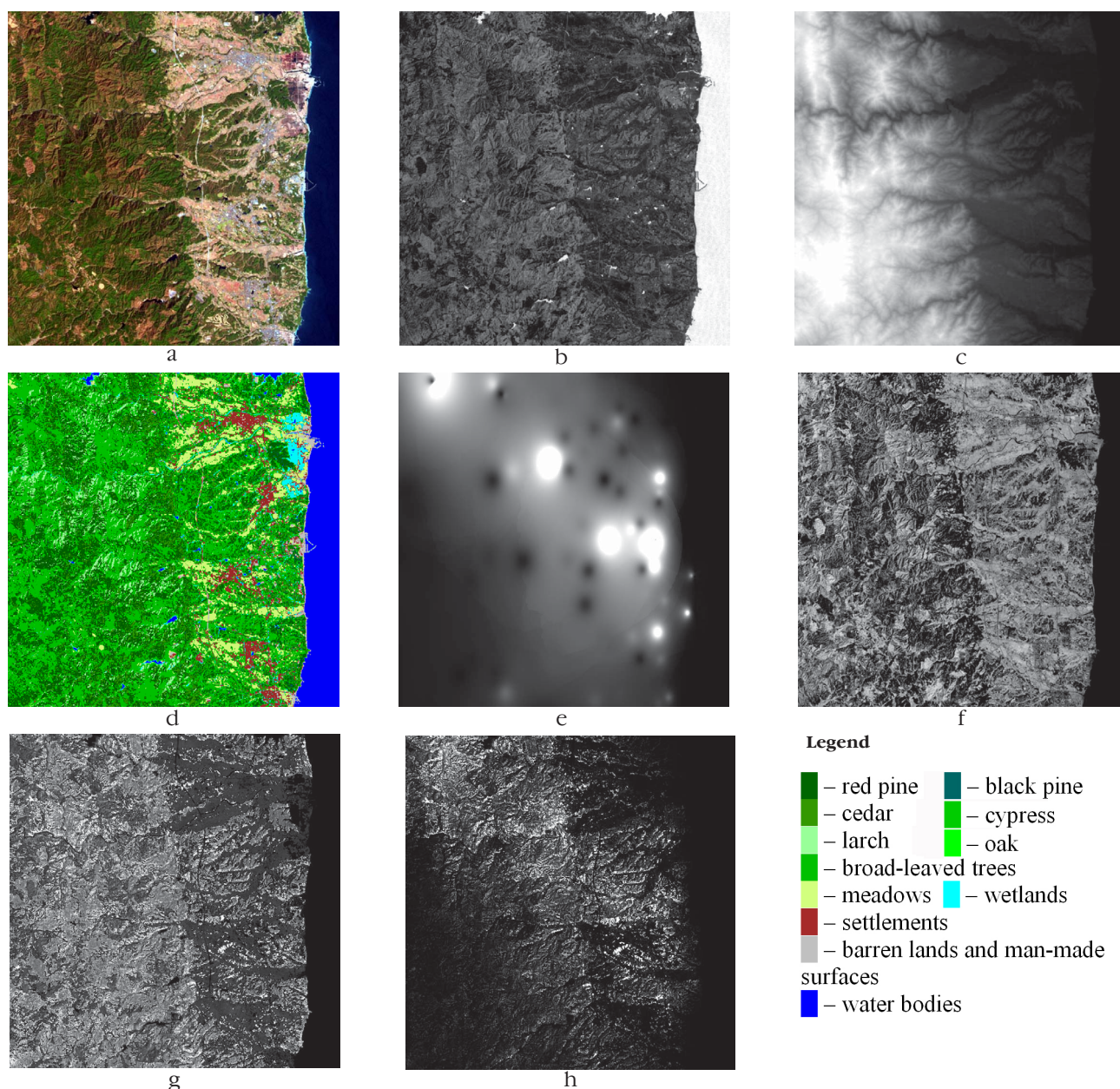


Figure 3. Risk mapping of adsorbed radionuclide emission by fire over Landsat-5/TM multispectral satellite imagery of Fukushima disaster zone

a – color-composite Landsat-5/TM image, b – normalized water fraction, c – terrain elevations (m), d – ML/MD classification result, e – map of vegetation adsorbed radionuclide content (Bq/m^2), f – ignition probability distribution map, g – rate of fire spread (m/min) distribution map, h – final map of radionuclide emission total hazard (Ci/min)

sonal variability of wildfire hazard requires continuous operational satellite-based monitoring of radioactive contaminated area.

The continuous joint research is needed towards the improvement of risk assessment models for Fukushima and Chernobyl exclusive areas.

Acknowledgements

This research was commissioned by the University of Tokyo (2013–2015) with the financial support of Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan according to government agreement. We would like to pay our compliments to Min-

istry of Foreign Affairs of Japan for contributing our research.

References

1. Absalom J. P. Predicting soil to plant transfer of radio-caesium using soil characteristics / J. P. Absalom, S. D. Young, N. M. J. Crout, A. F. Nisbet, R. F. M. Woodman, E. Smolders, A. G. Gillett // *Environmental Science & Technology*.— 1999. — Vol.33. — No. 8. — P. 1218–1223.
2. Bedford T. J. Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods / T. J. Bedford, R. M. Cooke.— N. Y.: Cambridge University Press, 2001. — 414 p.
3. Dusha-Gudym S. I. Transport of radioactive materials by

- wildland fires in the Chernobyl accident zone: How to address the problem / S. I. Dusha-Gudym // International Forest Fire News. — 2005. — No.32. — P. 119–125.
4. Evangeliou N. Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen? / N. Evangeliou, Y. Balkanski, A. Cozic, W.-M. Hao, A. P. Møller // Environment International. — 2014. — Vol.73. — No.12. — P. 346–358.
 5. Fuhrmann M. Uptake of Cs-137 and Sr-90 from contaminated soil by three plant species: Application to phytoremediation / M. Fuhrmann, M. M. Lasat, S. D. Ebbs, L. V. Kochian, J. Cornish // Journal of Environmental Quality. — 2002. — Vol. 31. — No. 3. — P. 904–909.
 6. Heinsch F. A. BehavePlus fire modeling system, version 5.0 / F. A. Heinsch, P. L. Andrews / General Technical Report RMRS-GTR-249. — Fort Collins: U. S. Forest Service, 2010. — 120 p.
 7. Konoplev A.V. Parameterization of ¹³⁷Cs soil-plant transfer through key soil characteristics (in Russian) / A. V. Konoplev, I. V. Konopleva // Radiation Biology. Radioecology. — 1999. — Vol. 39. — No. 4. — P. 455–461.
 8. Latham D.J. Ignition probabilities of wildland fuels based on simulated lightning discharges / D. J. Latham, J. A. Schlieter / Research Paper INT-411. — Ogden: U. S. Forest Service, 1989. — 20 p.
 9. Lyalko V. I., Sakhatskyi O. I. Mapping areas of high natural fire risk (in Ukrainian) // Space for Ukraine: Atlas of interpreted images of the territory of Ukraine from “Ocean-O” Ukrainian-Russian satellite and other satellites / Ed. V. I. Lyalko and O. D. Fedorovsky. — Kiev: National Academy of Sciences of Ukraine, National Space Agency of Ukraine, 2001. — P. 29–30.
 10. Popov M. O. Possibilities of land cover moisture evaluation using remote sensing multispectral data for Ukrainian West Polesie / M. O. Popov, O. I. Sakhatsky, S. A. Stankevich // Nature and landscape monitoring system in the West Polesie region / Ed. by T. J. Chmielewski and C. Sławinski. — Lublin: University of life sciences, 2009. — P. 65–76.
 11. Prister B. S. Experimental substantiation and parameterization of the model describing ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr behavior in a soil-plant system / B. S. Prister, V. G. Baryakhtar, L. V. Perepelyatnikova, V. D. Vinogradskaya, N. R. Grytsuk, T. N. Ivanova // Environmental Science and Pollution Research. — 2003. — Vol. 10. — No.1. — P. 126–136.
 12. Pyne S. J. Introduction to Wildland Fire / S. J. Pyne, P. L. Andrews, R. D. Laven. — N. Y.: John Wiley, 1996. — 188 p.
 13. Quantification of Radionuclide Transfers in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments / IAEA-TECDOC-1616 Technical Report. — Vienna: IAEA, 2009. — 622 p.
 14. Schroeder M. J. Ignition probability / M. J. Schroeder / Office Report 2106-1. — Silver Spring: Environmental Science Services Administration, 1969. — 28 p.
 15. Scott J. H. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model / J. H. Scott, R. E. Burgan / General Technical Report RMRS-GTR-153. — Fort Collins: U.S. Forest Service, 2005. — 80 p.
 16. Yoschenko V. I., Kashparov V. A., Levchuk S. E., Glukhovskiy A. S., Khomutinin Y. V., Protsak V. P., Lundin S. M., Tschiersch J. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone: Modeling the transport process // Journal of Environmental Radioactivity. — 2006. — Vol. 87. — No. 3. — P. 260–278.

ОЦІНКА РИЗИКУ ВИКИДУ АДСОРБОВАНИХ РАДІОНУКЛІДІВ ВНАСЛІДОК ПОЖЕЖІ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ФУКУСИМИ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Сергій Станкевич, Олексій Сахацький, Дмитро Бобро, Акіра Івасака, Шінічі Накасука, Сейі Йошімото, Йошіхіде Аоянагі
Оцінка ризику емісії радіонуклідів дуже важлива для пом'якшення наслідків ядерної аварії. Ґрунтуючись на досвіді Чорнобиля, нами отримано довготривалі оцінки ризику в зоні відчуження Фукусіми з використанням дистанційного зондування і даних про зараження території радіонуклідами. Можливу емісію адсорбованих рослинами радіонуклідів поєднано з відомими моделями виникнення і поширення лісової пожежі. Залучення супутникових даних дозволяє забезпечувати безперервний моніторинг пожежонебезпеки.

Ключові слова: дистанційне зондування, класифікація багатоспектральних зображень, пожежонебезпечність, емісія радіонуклідів, зона відчуження Фукусіми

ОЦЕНКА РИСКА ВЫБРОСА АДСОРБИРОВАННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ВСЛЕДСТВИЕ ПОЖАРА В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ФУКУСИМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сергей Станкевич, Алексей Сахацкий, Дмитрий Бобро, Акира Ивасаки, Шиничи Накасука, Сейи Йошимото, Йошихиде Аоянаги

Оценка риска выброса адсорбированных радионуклидов очень важна для смягчения последствий ядерной аварии. Основываясь на опыте Чернобыля, мы получили долговременные оценки риска в зоне отчуждения Фукусимы с использованием дистанционного зондирования и данных о заражении территории радионуклидами. Возможная эмиссия адсорбированных растениями радионуклидов объединена с известными моделями возникновения и распространения лесного пожара. Привлечение спутниковых данных позволяет обеспечивать непрерывный мониторинг пожарной опасности.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, классификация многоспектральных изображений, пожароопасность, эмиссия радионуклидов, зона отчуждения Фукусимы

УДК 504.064.2.001.5:528.88.04

Методические основы дистанционных аэрокосмических исследований в природопользовании как мульти-междисциплинарное научное направление (на примере оценки нефтегазоперспективности участков Каспийского шельфа Туркменистана)

А. В. Соколовская, А. Д. Федоровский*

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

В статье излагаются методические основы дистанционных аэрокосмических исследований в природопользовании, как мульти-междисциплинарного научного направления, использующего знания из разных научных дисциплин на примере нефтегазоперспективных работ в зоне Каспийского шельфа Туркменистана.

Ключевые слова: дистанционные аэрокосмические исследования, природопользование, мульти-междисциплинарность, морской шельф, нефть и газ, геология, гидрология, гидрофизика, геоинформатика, системный анализ

© А. В. Соколовская, А. Д. Федоровский. 2015

Введение

Решения конкретных тематических задач природопользования на основе дистанционных аэрокосмических исследований, как правило, не могут обойтись без привлечения результатов, полученных в разных областях знаний, фактически интегрируя данные из смежных научных дисциплин. Исследования, выполняемые на основе разных научных дисциплин, называют мультидисциплинарными или междисциплинарными научными направлениями. При этом отдельные дисциплины используются как составляющие и дополняющие основное научное направление, с позиций которого, как ведущего, рассматриваются результаты всего комплекса исследований. По сути это системно-интеграционный подход [3].

Отличие мультидисциплинарного подхода от междисциплинарного заключается в том, что в первом все дисциплины используются в рамках своей профессиональной компетенции, тогда как при междисциплинарном подходе происходит перенос теоретической основы одной дисциплины в другую. Так, например, для оптимизации космического геомониторинга путем выбора наилучшего варианта орбитального построения спутниковой группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли была выполнена оценка эффективности множества различных вариантов и выбран оптимальный на основе генетического алгоритма, теоретическая основа которого была заимствована из микробиологии [16]. Под трансдисциплинарным научным направлением в общем смысле понимают способ расширения научного

мировоззрения. Этот термин до сих пор не получил однозначного определения. Одно из них: “принцип организации научного знания, открывающий широкие возможности взаимодействия многих дисциплин при решении комплексных проблем природы и общества” [8].

Для дистанционных аэрокосмических исследований в природопользовании предлагается использовать следующее название и определение: “мульти-междисциплинарное научное направление”, основанное на интеграции теоретических положений, методов и моделей, информационных материалов и экспериментальных данных из разных научных дисциплин.

Анализ известных научных работ, в большинстве своем, прогнозирует развитие и перспективу мульти-междисциплинарных исследований, мотивируя тем, что существенные достижения в науке и технике невозможны без тесной кооперации смежных областей знаний. Эффективность комплексного подхода особенно очевидна, когда необходимо учитывать множество взаимосвязанных факторов, являющихся предметом изучения различных научных дисциплин [3, 8].

Цель данной статьи — обосновать методологию дистанционных аэрокосмических исследований в природопользовании как мульти-междисциплинарное научное направление на примере нефтегазоперспективных работ в зоне Каспийского шельфа.

На основе упомянутых выше работ можно составить перечень методических составляющих, характерных для мульти-междисциплинарного направления. С некоторым обобщением и сокращением сформулируем основные из них: определение проблемы и описание предмета исследований, анализ необходимых областей знаний и научных дисциплин

*e-mail: adfedorovsky@ukr.net, тел.: (044) 486-63-70

Геология

Для исследования геологических структур Каспийского шельфа Туркменистана З. М. Товстюк и Т. А. Ефименко были использованы космические снимки MODIS спутника Terra (рис. 2 а) и подробные батиметрические карты морского дна северо-восточной части Каспийского шельфа (рис. 2 б). При этом для выявления геологических структур использовался морфометрический метод (один из методов структурно-геоморфологических исследований), который базируется на картометрических трансформациях [17].

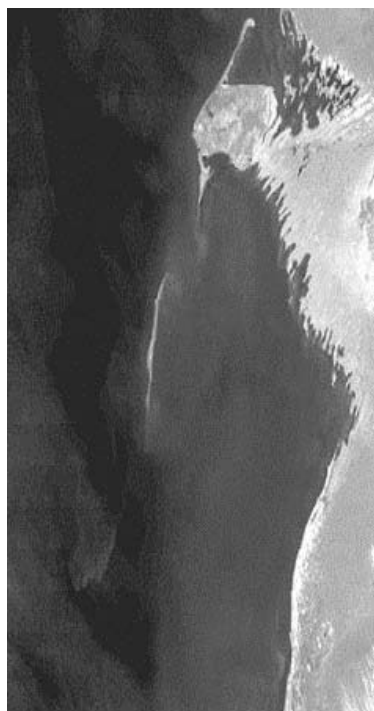
Исследование морского дна показали, что его рельеф сохранил морфоструктуры разного порядка. Здесь наиболее четко выражены геодинамические узлы, которые проявляются в виде линияментов и кольцевых структур. Благодаря отображению в рельефе морского дна большинства геологических структур (до 70%) позволило сделать вывод об их унаследованном развитии. Глубинным локальным структурам отвечают структурные террасы, замкнутые формы высотой до 100 м и больше. Было установлено, что шельф Каспийского моря имеет разломно-блочное строение и сформирован разломами четырех направлений. Субмеридиональные и субширотные разрывные нарушения, большинство из которых дешифруются как линияменты и их зоны, являются наиболее древними. К структуроформирующим разломам принадлежат более молодые северо-западные, которые контролируют неотектонические

активные зоны поднятий. Эти структуры наиболее благоприятны для образования нефтегазоносных ловушек. Углеводороды могут разгружаться в водной среде через разломы в разных геологических структурах, создавая на дне грифоны и грязевые вулканы. Достигая морской поверхности углеводороды взаимодействуя с водной поверхностью создают нефтяные слики, поверхностные температурные аномалии, а в приповерхностном слое воды градиенты температуры.

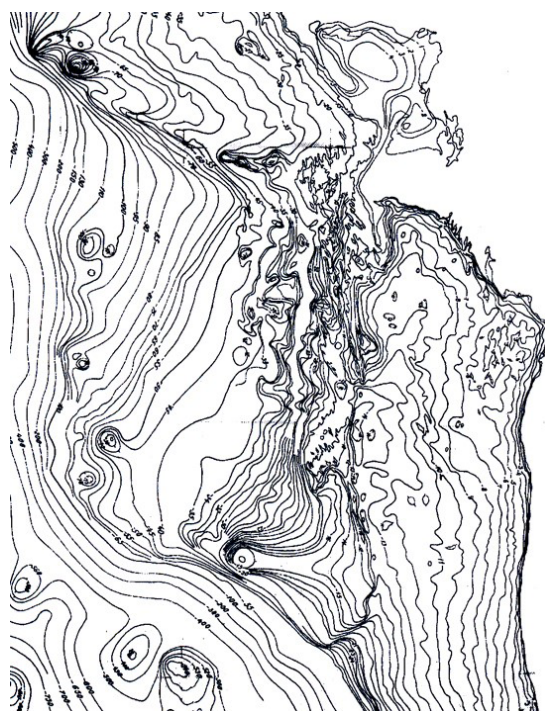
Полученная в результате исследований количественная оценка морфологических характеристик рельефа дна в зоне нефтегазоносных месторождений была использована в дальнейшем для комплексной оценки нефтегазоперспективности участков Каспийского шельфа Туркменистана.

Гидрология, океанология

По флюидопроводящим разломным структурам литосферы шельфовой зоны углеводородные газы поступают в водную среду, образуя пузырьки, грифоны и грязевые вулканы, интенсивность которых довольно большая [6]. Механизм прохождения миграционного потока углеводородных флюидов через водную толщу и взаимодействия его с водной поверхностью обусловлен рядом факторов, в том числе, типом гидрологии, которая зависит от времени года и акватории. На рис. 3 приведены реальные типы гидрологических разрезов, которые получены в разное время года и на разных участках акватории.



а



б

Рис. 2. а — фрагмент КС Terra-Modis северо-западной части Каспийского шельфа Туркменистана ($R=500\text{м}$, $545\text{--}565\text{nm}$); б — фрагмент батиметрической карты северо-восточной части Каспийского шельфа Туркменистана

На рис. 4 приведены теневые фотографии морской среды, находящейся в разных гидрологических условиях. Фотосъемка проводилась с помощью тепловизионной фотокамеры при разном состоянии гидрологии и при погружении аппаратуры на глубины до 100 м. При гидрологии, близкой к изотермии (рис. 4 а), поднятие флюидов к свободной водной поверхности может сопровождаться эрлифтным

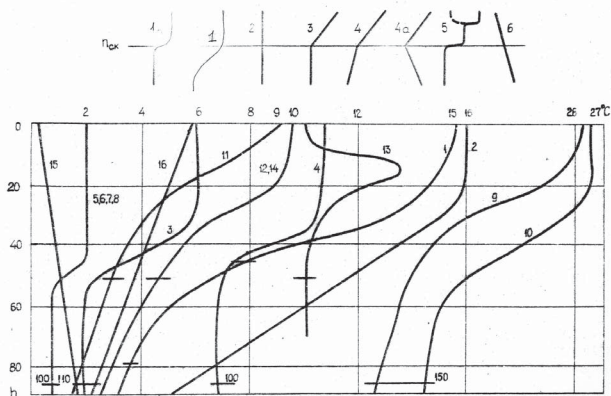


Рис. 3. Примеры различных типов гидрологических разрезов по глубине акватории

процессом — поднятие холодных глубинных вод к морской поверхности. Во втором случае, при наличии в стратифицированной водной толще градиентов плотности (рис. 4 б) мигрирующие флюиды вызывают образование внутренних волн, которые, распространяясь к водной поверхности, взаимодействуют с ней. В-третьих, при гидрологии с выраженным термоклином поток флюидов достигая его, вызывает колебание плотности (рис. 4 с), которые распространяются из области возмущения к свободной водной поверхности в виде внутренних волн. Частота этих волн известна как частота Брента-Вайселя, а величина, обратная ей (период волны), служит фундаментальным временным масштабом, который предопределяет колебательные движения в стратифицированной водной среде. Возникшие внутренние волны, взаимодействуя с водной поверхностью, вызывают изменения гидро-

физических характеристик приповерхностного слоя воды. Вследствие этого на свободной морской поверхности образуются аномалии поверхностной температуры, а в приповерхностном слое аномалии градиента температуры [9].

Согласно общепринятому определению, аномалия — это отклонение значения температуры в данном районе морской поверхности в определенный период (например, за сутки, неделю, месяц, сезон) от среднего ее значения за тот же период. Аномалии могут вычисляться путем сравнения значений температуры морской поверхности в одних и тех же точках, измеренных в данный момент времени, с вычисленной средней температурой, например, за многолетний период на тот же период года.

Информацию о температуре поверхностного слоя океана несет инфракрасное тепловое излучение его поверхности, интенсивность которого связана с обычной (термодинамической) температурой известным законом Стефана-Больцмана. Поскольку эту интенсивность можно измерить с помощью установленной на борту ИСЗ аппаратуры, то, следовательно, таким образом, можно определить и температуру океана. Основными приборами в тепловом инфракрасном диапазоне, являются сканирующие радиометры и тепловизоры, с помощью которых получают информацию о температуре поверхности океана в удобном и наглядном виде.

Локальные природные аномалии можно подразделить на две группы: первая — аномалии, которые обуславливаются местными подъемами холодных глубинных вод, теплообменом и перемешиванием, вторая — аномалии, которые вызываются течениями, меандрами вдоль границ течений и вихрями.

Подробная обработка и интерпретация имеющихся космических снимков известных месторождений с применением результатов моделирования и формирования полезного поискового сигнала позволили выделить набор эталонных аномалий сигнала в различных спектральных диапазонах, которые используются как калибровочные образцы.

На авиа- и космических снимках морской по-

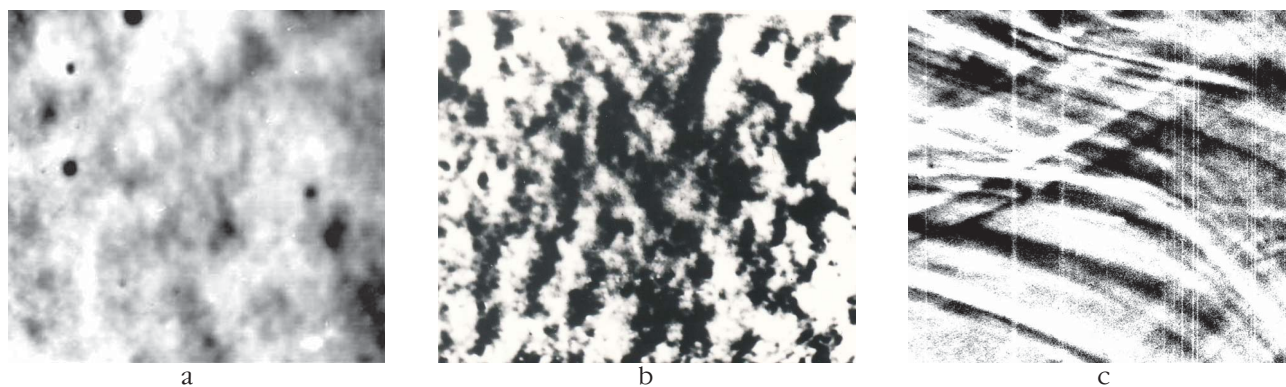


Рис. 4. Теневые фотографии водной среды: а — при изотермии, б — при наличии градиентов плотности, с — при направленной ориентации градиентов плотности

верхности наблюдаются температурные аномалии разного происхождения. Природные тепловые аномалии выделялись по отношению “сигнал/шум”, где в качестве шума рассматривались температурные вариации в данном месте в данный месяц на протяжении всего периода наблюдений, вызванные метеорологическими и другими факторами, не связанными с залежами углеводородов. На рис. 5 приводятся снимки, полученные с разных носителей тепловизионной аппаратуры: а — авиаснимок, снятый тепловизором в спектральном диапазоне 3.5–5.2 мкм, разрешением 350 м, контрастной чувствительностью 0.05°C; б — авиаснимок, снятый тепловизором в спектральном диапазоне 8–12 мкм, разрешением 50 м, контрастной чувствительностью 0,1°C; в — космический снимок AST_L1A. (на снимках более светлые участки соответствуют более высокой температуре).

Из рассмотрения рис. 5 можно сделать вывод, что наблюдаемая картина температурных аномалий по пространственным и температурным характеристикам в большой степени зависит от параметров измерительной аппаратуры и ее носителя.

Гидрофизика, гидродинамика

Гидрофизические процессы, протекающие в приповерхностном слое воды и формирующие его гидротермодинамический режим, достаточно сложны. В первую очередь это обусловлено поступлением в водную среду через границу раздела атмосфера-вода солнечного излучения и собственного излучения атмосферы. В свою очередь, водная среда формирует свой поток длинноволнового излучения. Кроме того, на приповерхностный слой влияют происходящие в нем конвективные потоки, турбулентность, внутренние и поверхностные волны, ветровое воздействие, испарение, осадки, облачность, течения и поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Исследованию температурного пограничного слоя, его возникновению и развитию посвящено много работ [5, 10, 19]. Интерес к изучению гидродинамики температуры морской поверхности и ее распределению в приповерхностном слое воды обусловлен, по крайней мере, двумя факторами: во-первых, в механизме энергомассообмена между атмосферой и океаном пространственное распределение температуры имеет важное значение, изучение которого необходимо при моделировании крупномасштабных процессов в моделях климата, что существенно для прогноза погоды и оценок долгосрочных климатических изменений.

Для приповерхностной толщи воды порядка 1 см уравнение теплового баланса имеет вид:

$$q = R + Q + i \quad (1)$$

где R — баланс длинноволновой радиации; Q — контактный теплообмен поверхности моря с атмосферой; i — затраты тепла на выпаривание.

В связи с трудностями путем расчетов определять полный тепловой поток, на практике используют метод непосредственного его измерения по градиенту температуры [12].

$$q = k \, dm/dz \quad (2)$$

где k — коэффициент теплопроводности приповерхностного пленочного слоя воды Z .

Значение k легко рассчитывается в пределах верхнего двухсантиметрового слоя воды:

$$k = k_0 (1 + \nu z) \quad (3)$$

где k_0 — молекулярное значение коэффициента теплопроводности ($Z = 0$), ν — скорость изменения k ($600 \, \text{м}^{-1}$).

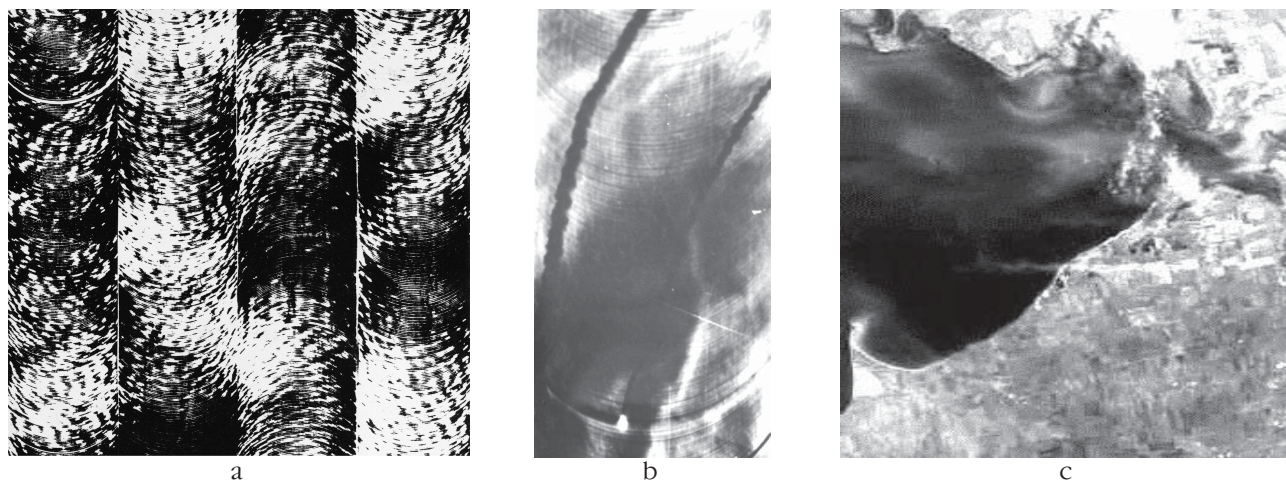


Рис.5. Температурные аномалии на морской поверхности

Задача определения общего теплового потока с морской поверхности сводится к измерению градиента температуры в приповерхностном слое воды. На образование пограничного слоя влияют фазовые переходы — выпаривание и конденсация, связанные с существенными затратами энергии. Эти процессы значительно усложняют математическое описание температурного пограничного слоя, которое выражается в образовании неустойчивых граничных условий.

Во втором случае интерес к гидродинамике приповерхностного слоя воды обусловлен тем, что по распределению температуры на поверхности и в приповерхностном слое можно судить о процессах, происходящих на глубинных горизонтах и в донных слоях водной среды, что можно использовать как один из информативных признаков при поиске залежей углеводородов [13].

Предыдущие исследования [5, 10, 19] показали, что в верхних слоях воды процессы турбулентной передачи тепла ослаблены. Это приводит к возникновению в поверхностном слое значительных градиентов температуры, величина которых определяется интенсивностью теплообмена вода-воздух. В обычных условиях температура поверхности воды меньше, чем на некоторой глубине. Причина этого явления, за редким исключением, заключается в том, что водная поверхность отдает тепло в атмосферу путем лучистой и турбулентной теплопередачи. Для выполнения условия баланса тепла необходимо наличие компенсирующего эти потери потока к поверхности из нижележащих слоев воды. На рис. 6 а представлен характерный профиль температуры в приповерхностном слое жидкости, измеренный с помощью термопары. Температура с глубиной вначале увеличивается до максимального значения, а затем начинает монотонно падать до температуры глубинных горизонтов.

Первые опыты по дистанционному исследованию процессов, происходящих в слое между морем и атмосферой, были проведены Мак Алистером с помощью разработанного им радиометра [20]. Экспериментально было установлено, что в приповерхностном слое формируется специфический пограничный слой размером в несколько миллиметров и градиентом температуры в несколько градусов. Это гидрофизическое образование получило название скин-слоя. Причем, в большинстве случаев, температура поверхности оказывается ниже температуры нижележащих слоев воды — холодный скин-слой. Поле температуры в нем формируется под действием различных, выше перечисленных, гидрологических и гидрофизических факторов. В поверхностном слое возникает неустойчивая стратификация, которая может приводить к конвективным движениям. В результате верхние слои воды проваливаются вглубь жидкости, образуя холодные термики. Процесс образования таких термиков носит периодический характер. На рис. 6 б приведена теневая фотография вертикального разреза приповерхностного слоя жидкости, на которой видно, что рассматриваемое явление имеет достаточно сложную структуру. Контраст изображения отражает перепады температуры в приповерхностном слое, величина которой пропорциональна яркости изображения.

Не менее сложной является термическая структура горизонтальных разрезов приповерхностного слоя, формирующегося вблизи раздела вода-атмосфера. На рис. 6 с изображены горизонтальные профили температуры на четырех глубинах: 0 мм, 3 мм, 6 мм и 15 мм. Из графиков видно, что по мере приближения к поверхности раздела значения температуры становятся все более изменчивы. Это обусловлено сложными гидродинамическими про-

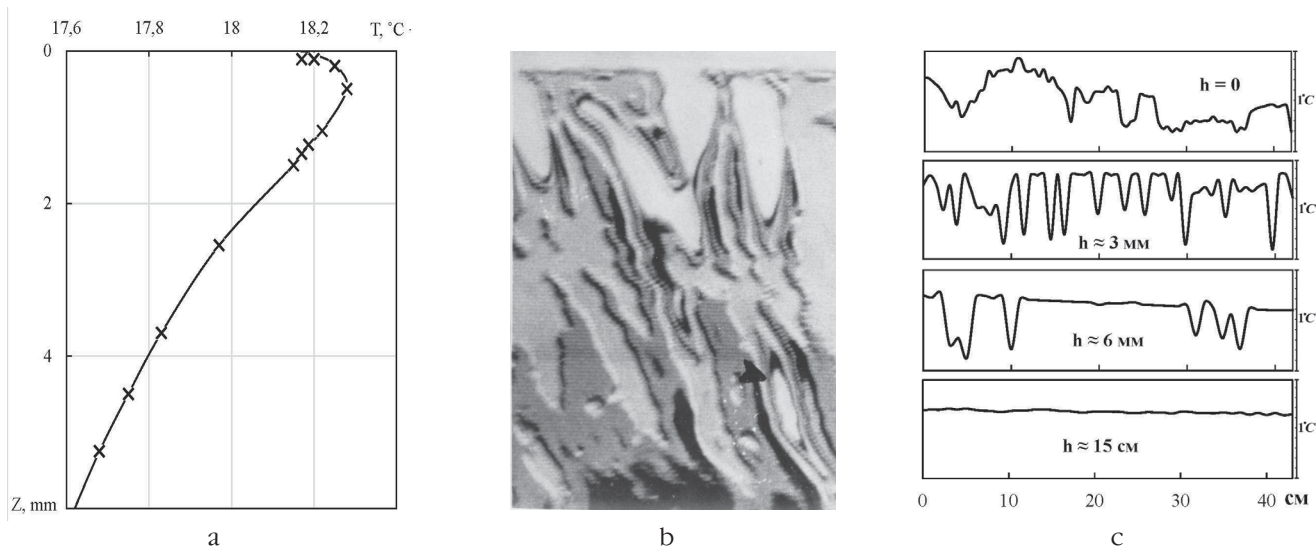


Рис. 6. а – характерный профиль температуры в приповерхностном слое жидкости; б – теневая фотография вертикального разреза в приповерхностном 5 мм слое жидкости; в – горизонтальное распределение температуры на четырех глубинах: $h = 0$ мм, 3 мм, 6 мм и 15 см

цессами, происходящими в тонких приповерхностных слоях.

Экспериментальное изучение гидрофизических процессов в приповерхностном слое воды сопряжено со значительными трудностями вследствие их малых размеров и невозможностью, в связи с этим, применить контактные методы измерений. Это обусловлено конечными размерами регистрирующего датчика, влиянием поверхностного натяжения при перемещении датчика через границу раздела вода-атмосфера и инерционностью измерительной системы. Поэтому, как правило, при исследовании процессов, которые происходят в приповерхностном слое и на глубинных горизонтах, используют неконтактные фото и теневые (тепловизионные) оптические системы. Для изучения свободной водной поверхности применяют дистанционные методы: спектрофотометрические, радиометрические, тепловизионные и радио методы, позволяющие получать информацию с высоким разрешением и точностью.

В работах [13, 14] изложены методы и результаты лабораторных и морских исследований гидрофизических процессов в приповерхностном слое воды с помощью оптической аппаратуры: тепловизионного прибора ИАБ-451, тепловизоров “Вулкан”, “Пингвин” и радиометров.

Известны модели температурного пограничного слоя [19]. Однако при их формировании влияние фазовых переходов на структуру термического пограничного слоя не учитывалось. В работе [9] методами термодинамики необратимых процессов были получены математические выражения для потоков массы и энергии через поверхность раздела жидкой и газообразной фазы. Так, в реальных условиях отсутствует резкая граница между водной поверхностью и атмосферой. В действительности над водной поверхностью всегда присутствует водяной пар с убывающей по высоте плотностью. Под влиянием внешних факторов пар и вода не находятся в состоянии термодинамического равновесия. Вследствие этого на границе раздела вода-пар происходят фазовые переходы. Полученные с помощью интегральных законов сохранения массы, импульса, энергии и энтропии соотношения связывают параметры жидкости и пара с учетом источников тепла за счет внешнего излучения: излучения солнца, собственного излучения атмосферы и излучения воды. Математическая модель неравновесной термической структуры границы раздела вода-атмосфера строится на основе предположения, что поверхность раздела вода-пар представляет собой: при $z > 0$ пар, при $z < 0$ — вода. Со стороны пара приходит внешнее излучение — I_0 . Вода и пар предполагаются поглощающими средами, при этом рассеяние не учитывается. Перенос лучистой энергии в паре и жидкости с некоторым уточнением описывается с помощью закона Бугера.

После достаточно сложных преобразований Е. И. Никифоровичем [9] были получены математические модели для определения распределения температуры в пограничном слое воды при различных начальных и граничных условиях. Ниже приводится математическая модель распределения безразмерной температуры $T_l^* = T_l / T_{loo}$ в приповерхностном слое жидкости, полученная при соответствующих граничных условиях, приведенных ниже.

$$T_l^* = 1 + T_{loo} - 1(T_s - T_{loo})e^{z^{**}} - q_{lo}^{z^{**}}e^{z^{**}}; \quad (4)$$

$$T_v(z \rightarrow +\infty) = T_{voo} = const, \text{ для пара}; \quad (5)$$

$$T_l(z \rightarrow -\infty) = T_{loo} = const, \text{ для воды}; \quad (6)$$

$$T_v(z = 0) = T_l(z = 0) = T_s - \text{температура водной поверхности} \quad (7)$$

где $z^{**} = z/z_p$, z_p — масштаб длины испарения, $q_{lo} = I_{lozl} / \lambda_l T_{loo}$, λ — коэффициент теплопроводности.

В работе [13] приведены результаты натурных морских исследований динамики разрушения и восстановления пограничного скин-слоя водной среды при разных метеорологических условиях. С помощью дистанционного радиометра в спектральном диапазоне 3.5–5.2 мкм, что отвечает эффективной глубине 0.06 мм, регистрировалась температура водной поверхности до разрушения пограничного слоя — T_s и после его разрушения — T_{sp} . На рис. 7 представлены зависимости $\Delta T = T_s - T_{sp}$ для трех случаев: 1 — при малой интенсивности излучения Солнца, 2 и 3 случаи при больших значениях солнечной радиации. При этом в разных опытах регистрировалась большая разница в перепадах температур ΔT и времени ее восстановления. Эти различия были связаны с изменяющимися внешними условиями опытов. Так, в первом случае: $\Delta T = -0.17$ К и 25 с время восстановления, во втором и третьем случае: $\Delta T = -0.5$ К и $\Delta T = -0.3$ К, время восстановления в обоих случаях более 90 с, что соответствует выше изложенным модельным представлениям гидрофизики скин-слоя. Таким образом, во всех трех опытах было зарегистрировано повышение температуры поверхности после разрушения холодного скин-слоя с помощью легкого плотика. Постепенно поверхностная температура принимала прежнее значение. Большое различие во времени восстановления поверхностной температуры объясняется разными внешними условиями.

Продолжением исследований приповерхностного слоя было изучение влияния облачности на термические характеристики холодного скин-слоя, которое было выполнено на основе дистанционного зондирования морской поверхности сканирующим тепловизором в инфракрасной области спектра 3.5–5.2 мкм [5].

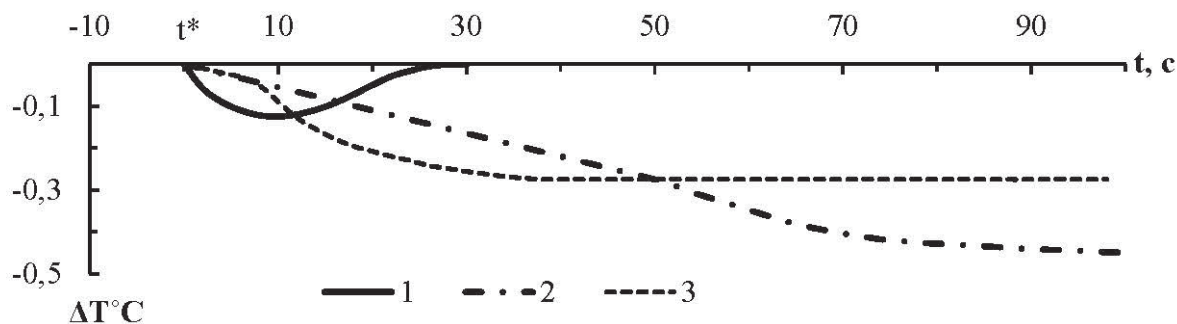


Рис. 7. Временная зависимость динамики восстановления скин-слоя при разных внешних условиях: 1 – зависимость, полученная при малой интенсивности излучения, 2 и 3 – при больших значениях солнечной радиации.

При появлении облачности нарушалось первоначальное стационарное состояние холодного ламинарного слоя, обеспеченное балансом потоков тепла. Эффективное излучение уменьшалось, что вызывало рост температуры скин-слоя и увеличение испарения, которое сопровождается отдачей тепла в атмосферу. Последнее компенсируется поступлением тепла из однородного слоя в холодный подслой до наступления нового квазистационарного состояния, вызванного отсутствием притока прямого солнечного излучения. После прохождения облака температура скин-слоя остается некоторое время выше своего первоначального состояния до полного исчезновения облачности, когда термические параметры скин-слоя начнут асимптотически приближаться к своим первоначальным значениям. Таким образом, при появлении облачности было зафиксировано и обосновано увеличение температуры водной поверхности.

Анализ гидрофизических процессов в приповерхностном слое воды, выполненный в приведенных выше работах, показывает, что существование холодного скин-слоя сохраняется при скорости ветра до 10 м/с, а время восстановления скин-слоя зависит от многих внешних факторов и может составлять десятки секунд.

На основе рассмотренных гидрофизических процессов для повышения эффективности поиска нефти и газа предлагается в качестве дополнительного информативного признака использовать аномалии градиента температуры в приповерхностном слое воды: $q = dT/dZ_{ef}$. Определить его можно путем последовательного измерения излучения воды в дальнем и близком инфракрасных спектральных каналах космических снимков. Далее, вычисляя значения температуры по известной методике [4] и определяя за формулой (8) эффективную глубину излучения Z_{ef} , рассчитывают градиент температуры в приповерхностном слое водной среды [15]. Например, используя дальний инфракрасный (10, 40–12.5 мкм, $Z_{ef} = 0.01$ мм), и ближний инфракрасные (2.09–2.35 мкм, $Z_{ef} = 0.4$ мм) каналы космического снимка Landsat,

$$Z_{ef} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) (dm_e / dZ) \cdot \alpha_e(\lambda)^{-1} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda) (dm_e / dZ) d\lambda} \quad (8)$$

где $\varepsilon(\lambda)$ — спектральный коэффициент излучения, m_e — энергетическая светимость черного тела, $\alpha_e(\lambda)$ — спектральный коэффициент поглощения.

Для расчетов эффективной глубины излучения в случае узкого спектрального интервала Мак Алистером было выведено выражение для $Z_{ef} = 1/\alpha_e(\lambda)$ [20]. В таблице 1 приведены значения Z_{ef} , рассчитанные в зависимости от оптической длины волны.

Таблица 1
Зависимость Z_{ef} от оптической длины волны

мкм	2.0–2.4	3.6–4.2	4.6–5.2	8.0–13.0
Z_{ef}	0.39	0.07	0.03	0.01

Геоиконика (теория геоизображений)

“Синтетическое научное направление, которое изучает и разрабатывает теорию геоизображений, методы их анализа, преобразования и использования в науке и практике” — Берлянт, 1985 [2]. Развитию геоиконики способствует тенденция интеграции картографии, геоинформатики и дистанционного зондирования в науках о Земле. При этом геоиконика выступает как научное направление, связывающая эти дисциплины. Здесь много внимания уделяется теории и методам распознавания, обработки и дешифрированию, что позволяет понять содержательную сущность геоизображений. Задача распознавания понимается как разделение пространства признаков (текстур, рисунков, спектральных характеристик и др.) на области, относящиеся к одному из классов (эталону), на основе заранее выбранных значений признаков или критериев.

Практическое приложение геоиконики многооб-

разно. В данной статье нет необходимости более детально углубляться во все разделы геоиконики. Для нас важны методы и научно-технические решения, связанные с дешифрированием и использованием информации космического геомониторинга. В этом аспекте представляет интерес раздел геоиконики — интерпретация геоизображений. Эта область прикладной геоиконики опирается на научные знания географии, геологии, геофизики, социально-экономических и экологических дисциплин. И как пишет А. М. Берлянт [2], существует потребность “собрать под одну крышу опыт и достижения разных, сильно разветвленных отраслей...”. И далее подчеркивается, что интеграция теорий, методов, моделей и данных, разработанных и полученных в результате исследований в разных областях знаний и направленных на решение конкретной тематической задачи является плодотворной.

Приведенное выше обоснование эффективности интеграционной тенденции в геоиконики ещё раз подтверждает актуальность разработки методических основ дистанционных аэрокосмических исследований в природопользовании, как мультимеждисциплинарного научного направления.

Дешифрирование космических снимков морской поверхности Каспийского шельфа в разных спектральных диапазонах выполнялось на основе полученной в предыдущих разделах геологической, гидрологической и гидрофизической информации. При этом численные значения выбранных информативных признаков ЗУ определялись на эталонных участках и на всей исследуемой акватории. Для этого был использован один из методов анализа космических изображений — структурно-текстурный анализ. Текстурные характеристики, несмотря на сезонную погодную изменчивость, сохраняют качественную и количественную оценку на протяжении всего времени поиска ЗУ [18]. По простоте и компактности описаний они значительно превосходят морфологические признаки, их можно сравнить с инвариантами моментов или стохастическими инвариантами. В основе этих признаков лежит понятие текстуры — важнейшей характеристики зрительных моделей изображений. Текстура представляется оценками статистик энергетических и пространственно-энергетических распределений (так называемых амплитудных и амплитудно-фазовых признаков), оценками автокорреляционной и взаимокорреляционных функций (корреляционных признаков), спектров пространственных частот (спектральных признаков) или геометрических и энергетических параметров Реона — локальных признаков.

Существенным этапом в понимании и описании спутниковых изображений, стал анализ текстуры, который теперь является одним из самых важных методов используемых в анализе, сегментации и классификации текстурных изображений. Наибо-

лее часто в практике ДЗЗ применяются такие текстурные преобразования:

- линейные ортогональные преобразования: Фурье, Адамара, Хаара, наклонное и др. В этом случае текстурным спектром являются соответственно спектр Фурье, Адамара, Хаара и др., а текстурной частотой его двумерный аргумент;
- автокорреляционные преобразования. Текстурным спектром является автокорреляционная функция, а текстурной частотой — двумерное смещение;
- преобразования к гистограмме. Текстурным спектром является гистограмма яркости, а роль одномерной текстурной частоты выполняет значение яркости. Обычно используются производные текстурные признаки среднее, дисперсия и др.;
- преобразования к матрице смежности. Текстурным спектром является матрица смежности, а в трехмерную частоту входят значения яркости двух смежных элементов и угол, задающий направление смежности. Обычно используются производные текстурные признаки: энергия, энтропия, контраст и др. [3].

Выбор текстурного преобразования должен производиться в зависимости от конкретной задачи. Так, при исследовании периодических текстур целесообразно применять преобразование Фурье. При поиске объектов заданной формы лучшие результаты дают методы согласованной фильтрации, которые сводятся к линейному ортогональному преобразованию, обусловленному формой объекта, положением и максимумам текстуры спектра.

Коэффициенты автокорреляции яркости геоизображений, к которым относится изображение водной поверхности, достаточно точно аппроксимируются экспоненциальными функциями. Это позволяет, как стохастическую модель изображений, использовать случайный двухмерный Марковский процесс. Математической формой описания Марковской модели изображения является матрица смежных вероятностей (МСВ) значений яркости космического снимка. Учитывая, что яркость изображения обычно передается 8-мью разрядным кодом, для 256 градаций яркости МСВ такого процесса имеет размер 256×256 элементов [21]. Этот метод был успешно использован в задачах анализа текстуры геоизображений. Наша цель — применить алгоритм классификации текстуры изображений водной поверхности, основанный на матрицах смежных вероятностей градаций серого.

На все алгоритмы статистического анализа текстуры распространяется общая задача: обеспечение характеристик, измеряющих визуальное качество восприятия текстурных образов. Успех МСВ связан непосредственно с точностью, с которой матрица захватывает структуру основной текстуры. Это было показано по содержанию текстурной информации, информации гистограммы, информации формы и

информации края. МСВ фактически является двумерной гистограммой частоты значений пары величин пикселей с данной пространственной связью. Этот метод был успешно использован при анализе текстуры нефтегазоперспективных участков территории Каспийского шельфа [1]. Текстурные характеристики геоизображений описываются с помощью набора параметров Харалика: дисперсии, энтропии, энергии, локальной однородности и др. Ниже, в качестве примера, рассматриваются три из них: энергия или второй момент (9), энтропия (10) и локальная однородность (11).

1. Энергия или второй момент:

$$E = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij}^2 \quad (9)$$

2. Энтропия:

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} \log(p_{ij}) \quad (10)$$

3. Локальная однородность:

$$L = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{ij} / [1 + (i - j)^2] \quad (11)$$

Космические изображения каспийского шельфа с КА Terra MODIS и ASTER были обработаны с помощью метода количественного текстурного анализа, а именно вычисления параметров Харалика: — по параметрам: “энергия”, “энтропия” и “однородность”.

На рис. 8 а, в качестве примера, показан космический снимок Modis с пространственным разрешением 500 м, спектрального диапазона 0.545–0.565 мкм. На рис. 8 б представлены результаты его обработки в виде градаций яркости по космическому изображению, полученные путем вычисления параметра Харалика “энтропия” в соответствии с выражением (9). На рис. 9 а показан фрагмент космический снимок Terra ASTER с пространственным разрешением—15 м, спектрального диапазона 0.52–0.60 мкм. На рис. 9 б — результаты его детальной обработки, полученные путем вычисления параметра Харалика “энтропия”.

Сравнение и анализ результатов дешифрирования представленных космических снимков (рис. 8 и 9) показывает, что на изображениях, полученных в результате обработки, визуально наблюдаются фрагменты, что не выявлялись на космических снимках до обработки. Так, например, на рисунках, полученных после обработки изображения и обнаружения на них текстур на шельфе наблюдаются расположены вдоль береговой линии структуры различных размеров и форм. Это свидетельствует об информативности полученных дополнительных текстурных характеристик, которые могут быть ис-

пользованы при исследовании геологических структур участков морского шельфа. Из сравнительного анализа батиметрических карт рельефа морского дна с полученными текстурными характеристиками можно сделать вывод, что они в значительной степени соответствуют особенности рельефа дна. Таким образом, текстурная обработка космических снимков дает объективную информацию об особенностях дна морского шельфа, что является дополнительным информативным признаком для выделения нефтегазоперспективных объектов.

Системный анализ

На заключительном этапе исследований выполнялась интегральная оценка нефтегазоперспективности участков Каспийского шельфа Туркменистана. Учитывая, что исследуемая среда морского шельфа является сложной системой для оценки нефтегазоперспективности и детального определения приоритетности отдельных участков шельфа, целесообразно использовать общий методический принцип и математический аппарат системного анализа.

В связи с этим задача решалась в два этапа. На первом, при исследовании 31 лицензионного участка территории Каспийского шельфа (рис. 1 б) на региональном уровне был применен метод анализа иерархий — МАИ [11]. В этом случае для получения экспертных оценок нефтегазоносности участков территории на разных иерархических уровнях информативных характеристик привлекается широкий круг экспертов, которые представляют разные области знаний. Далее, в результате последовательной комплексной обработки полученной информации с учетом весовых коэффициентов и места информативных характеристик в иерархической системе формируется целевая функция, с помощью которой оценивается степень приоритетности исследуемых участков для их классификации и отбора наиболее перспективных из них.

Суть метода анализа иерархий состоит в декомпозиции процедуры оценки приоритетности исследуемых участков на более простые составляющие по иерархическим уровням. Каждый элемент уровня может представлять разные аспекты решаемой задачи, причем могут рассматриваться как материальные, так и нематериальные факторы, количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертные оценки. На их основе ведется экспертная оценка составляющих (критериев) каждого иерархического уровня, и их формализация путем вычисления частичных и глобальных векторов приоритетов. Для получения указанных векторов строится множество матриц парных сравнений по каждой составляющей иерархического уровня и ведется оценка векторов приоритетов с точки зре-

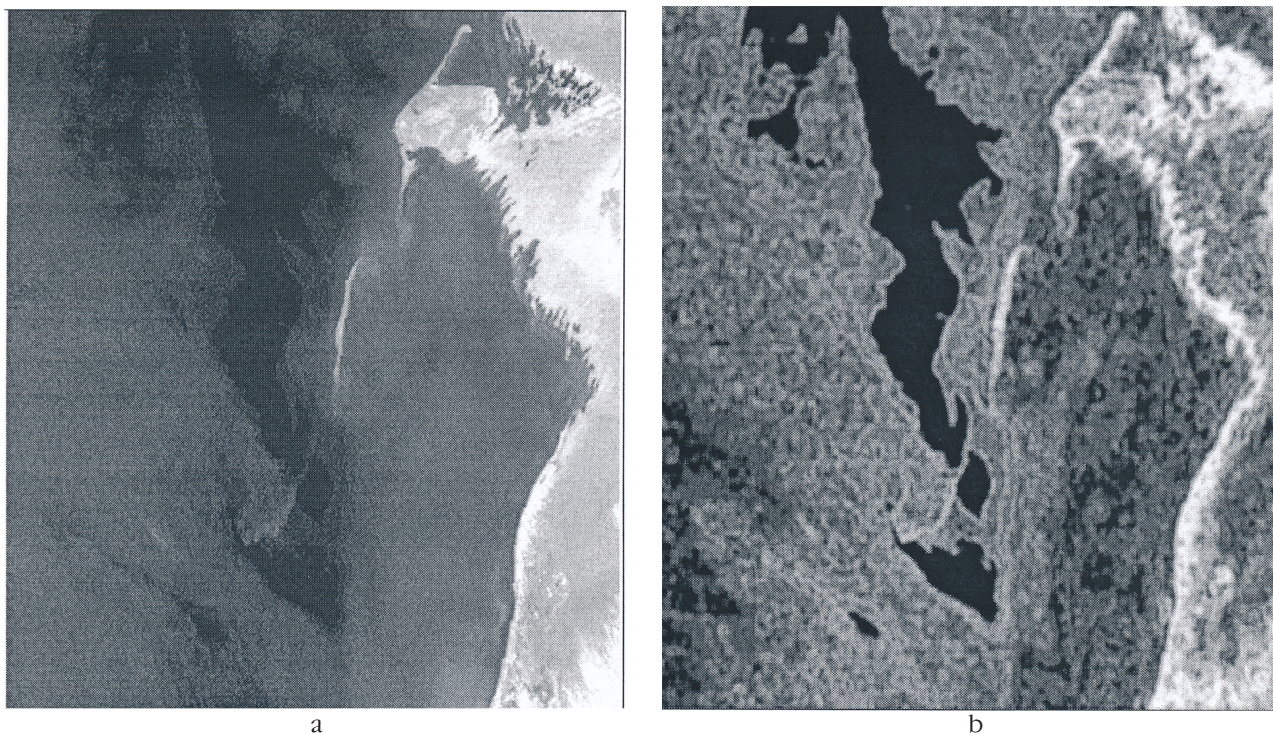


Рис. 8: а – фрагмент космического снимка Terra MODIS; б – результаты дешифрирования на основе количественного текстурного анализа “Энтропия”

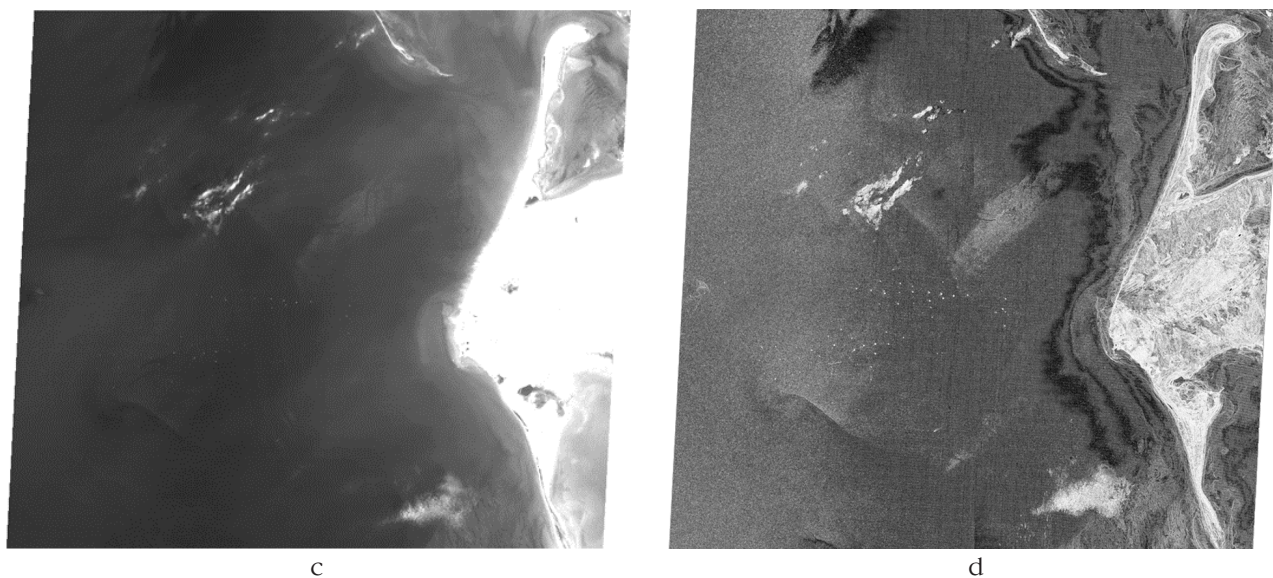


Рис. 9: а – фрагмент космического снимка Terra ASTER; б – результаты дешифрирования на основе количественного текстурного анализа “Энтропия”

ния их влияния на составные предыдущего уровня. Приоритетность участков определяется по обобщенному критерию, значение которого исчисляется на основе значений векторов локальных приоритетов.

Наиболее ответственным этапом является построение иерархической модели. На нулевом уровне находится целевая установка — системная оценка нефтегазоперспективности участков Каспийского шельфа Туркменистана по данным ДЗЗ и наземным наблюдениям. Первый уровень состоит из источни-

ков информации, которые используются для анализа участков: космические снимки в оптических и радио спектральных диапазонах, разных картографических материалов (геологические, гидрологические и гидрофизические карты). Второй уровень включает методы обработки полученной информации: спектральный, структурно-текстурный, морфометрический и морфоструктурный анализы. На третьем уровне находится перечень информативных признаков наличия углеводородов: значения спектральной яркости и радио яркости космического изобра-

жения, температуры и градиента температуры морской поверхности, текстуры космического изображения, морфологических характеристик рельефа дна, относительные значения которых на каждом участке определяются по балльной шкале. Четвертый уровень состоит из перечня исследуемых участков и результатов их интегральной оценки по степени нефтегазоперспективности.

Когда проблема представлена иерархично и эксперты, сопоставляя попарно альтернативы, формируют систему преимуществ между элементами уровней, присваивая каждому из них определенный балл в шкале относительной значимости, составляется матрица попарных сравнений. В результате система преимуществ представляется квадратной матрицей. Подобные матрицы должны быть построены для парных сравнений каждой альтернативы на втором уровне по отношению к первому уровню, на третьем по отношению ко второму и т.д. Элементы матриц заполняются оценками, суждениями эксперта или их группы об относительной важности сравниваемых отдельных элементов относительно цели, или критерия, находящегося на более высоком уровне.

Матрица парных сравнений имеет вид:

$$W_{gr} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_r & \dots & A_n \\ A_1 & 1 & s_1/s_2 & \dots & s_1/s_r & \dots & s_1/s_n \\ A_2 & s_2/s_1 & 1 & \dots & s_2/s_r & \dots & s_2/s_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_g & s_g/s_1 & s_g/s_2 & \dots & s_g/s_r & \dots & s_g/s_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & s_n/s_1 & s_n/s_2 & \dots & s_n/s_r & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

где $A_1, A_2, \dots, A_n$ — параметры, которые составляют иерархический уровень; s_q/s_r — отношение абсолютных приоритетов s_q, s_r , q -го и r -го параметров; n — число критериев, сравниваемых на данном уровне.

$$\|a_{ij}\|, a_{ji} = 1/a_{ij}, \quad (13)$$

где $i, j = 1, \dots, n$ — число критериев, которые сравниваются на каждом уровне.

Далее вычисляем компоненты собственного вектора матрицы

$$a_1 = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{1j}}; \dots; a_n = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{nj}} \quad (14)$$

Обработка матриц дает возможность вычислить векторы приоритетов K_1, K_2, K_3, K_4 соответствующих уровней, компоненты которого определяют их приоритеты с точки зрения эксперта. С полученных групп матриц определяем нормальные оценки вектора локальных приоритетов:

$$K_1 = a_1 / \sum_i a_i; \dots; K_n = a_n / \sum_i a_i \quad (15)$$

После того как компоненты собственного вектора получены для всех строк матрицы в соответствии с выражениями (14), становится возможным их использование для дальнейших вычислений.

Метод анализа иерархий позволяет сконструировать необходимую целевую функцию и оценить степень воздействия на нее каждой из характеристик исследуемой системы. Если получены все необходимые весовые коэффициенты, то формула свертки обобщенного критерия для сравниваемых вариантов имеет вид:

$$F = \sum K_l^1 \sum K_m^2 \sum K_r^3 \sum K_p^4 \cdot x_p^s \quad (16)$$

где верхний индекс критериального приоритета обозначает уровень иерархии p ; — коэффициент преимущества варианта по показателю.

Полученные значения F позволяют установить приоритетность участков каспийского шельфа Туркменистана (№ 1–31) для следующей детальной классификации более перспективных с них.

Метод анализа иерархий был реализован в ЦАКИЗ ИГН НАН Украины программно, были выполнены исследования приоритетности участков каспийского шельфа Туркменистана для последующей геофизической разведки.

На втором этапе для детального исследования было выбрано три поисковых участка (№1, №2, №3), получивших на первом этапе по целевой функции наибольший балл.

Задача заключалась в их оценки на нефтегазоперспективность и определении наиболее перспективного участка-площадки для последующей геофизической разведки. Эта задача выполнялась методом аналитических сетей (МАС) [11]. Выбор этого метода обусловлен тем, что МАС позволяет обрабатывать более разнообразные и сложные структуры с учетом зависимостей между уровнями и обратными связями между элементами уровня, тем самым достигая большую объективность и достоверность в принятии решений. МАС используют для детального анализа в случаях принятия ответственных решений, но, в отличие от МАИ, этот метод является более трудоемким и требует значительных временных затрат. Сеть представляет собой набор компонентов, которые являются аналогом уровней в МАИ.

В сетевых задачах компоненты рассматриваются как взаимодействующие объекты, которые влияют друг на друга относительно четко сформулированного управляющего критерия. Любое решение в МАС представляется в виде ориентированной сети, в отличие от МАИ, где потоки строго направлены сверху вниз.

Для определения наиболее нефтегазоперспективного участка на основе МАС проводится структурирование проблемы в виде сетевой модели, на основе которой определяются взаимосвязи между

предложенными альтернативами и обобщенными критериями выбора (рис. 10).

Взаимные влияния элементов в сети также можно представить следующей суперматрицей:

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{matrix} & \begin{matrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & W_{nn} \end{matrix} \end{matrix} \quad (17)$$

Элементы W_{qr} в суперматрице называются блоками и представляют собой матрицы парных сравнений (12), C_1, C_2, C_n — критерии.

Рассмотрим более подробно процесс выявления наиболее нефтегазоперспективного участка. В качестве программного средства нами был использован ПП Super Decision.

Расчет состоит из трёх шагов.

Шаг 1. Определение экспертами в предметной области приоритетов по которым будут оцениваться каждый из трёх участков. Оценка проводилась по шкале интенсивности от 1 до 9, которая предложена Т. Саати [11] (табл. 2).

Дальше в ПП Super Decision строятся взаимосвязи между критериями и альтернативами и по каждому вносятся экспертные оценки (рис. 11)

Шаг 2. Рассчитывается суперматрица и предельная матрица элементов взаимосвязи. Определяются наиболее нефтегазоперспективные участки по отдельным обобщенным критериям (“Выгоды —

Таблица 2

Значения экспертных оценок в системе аналитических сетей

Шкала интенсивности	Качественные суждения
1	Равная важность
3	Умеренное превосходство одного над другими
5	Существенное превосходство одного над другими
7	Значительное превосходство одного над другими
9	Очень сильное превосходство одного над другими
2, 4, 6, 8	Соответствующие промежуточные значения

нефтегазоперспективность”, “Затраты”, “Риски”) (рис. 12)

Шаг 3. В зависимости от поставленной задачи определяется формула, по которой будет рассчитан наиболее нефтегазоперспективный участок с учетом обобщенных критериев и экспертных оценок по приоритетам выбранных критериев. В рассматриваемом случае была использована стандартная аддитивная (вероятностная) формула (additive (probabilistic)). На основе окончательного ранжирования объектов были получены результаты, которые представлены на рис. 13.

Таким образом в результате детального исследования на основе МАС и в соответствии с данными окончательного ранжирования были получены следующие оценки нефтегазоперспективности трех выбранных участков Каспийского шельфа Туркменистана: №1 — 0.31; №2 — 0.39 и №3 — 0.30.



Рис. 10. Сетевая модель взаимосвязей между предложенными альтернативами и обобщенными критериями выбора для определения наиболее нефтегазоперспективного участка

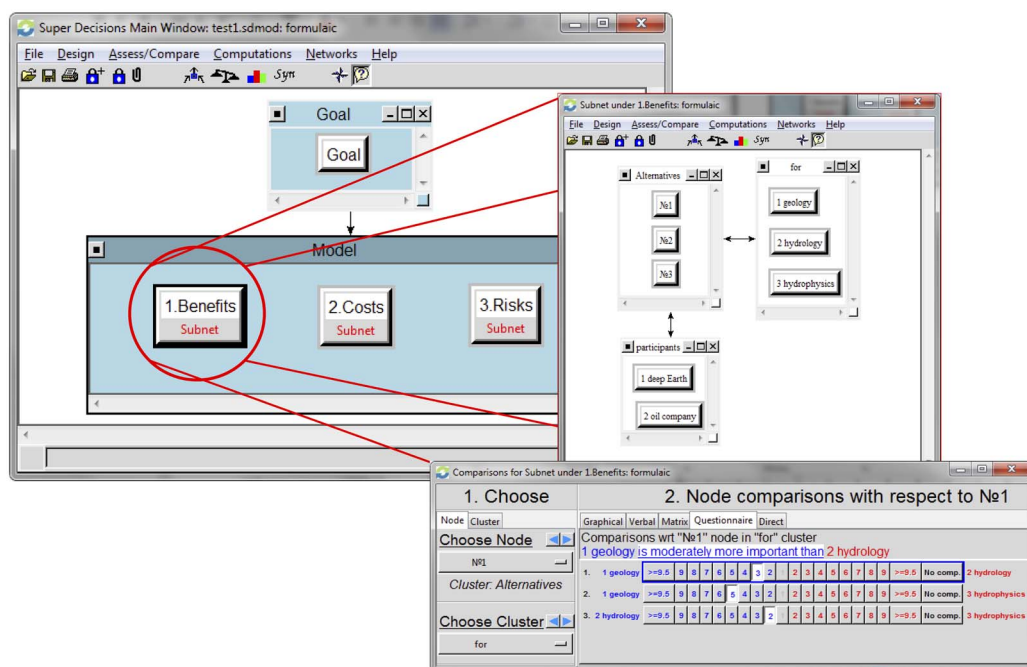


Рис. 11. Пример построения взаимосвязей между критериями и альтернативами в ПП Super Decision

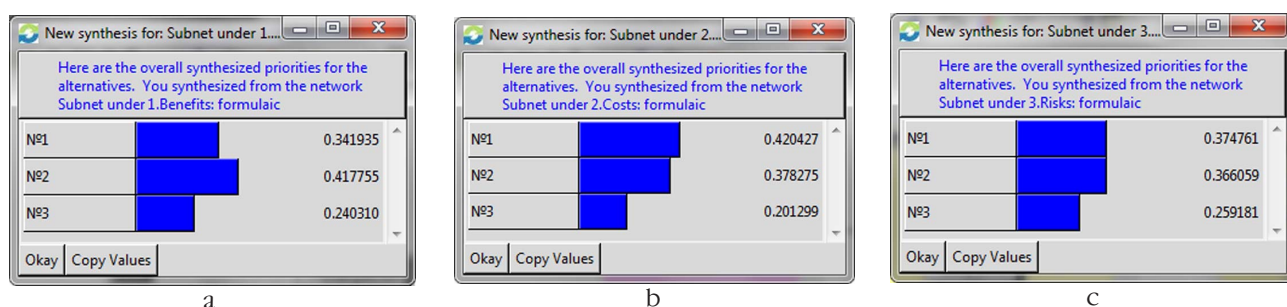


Рис. 12. Результаты детального исследования нефтегазоперспективных участков по отдельным обобщенным критериям: а — “Выгоды — нефтегазоперспективность”; б — “Затраты”; с — “Риски” в программном окне ПП Super Decision

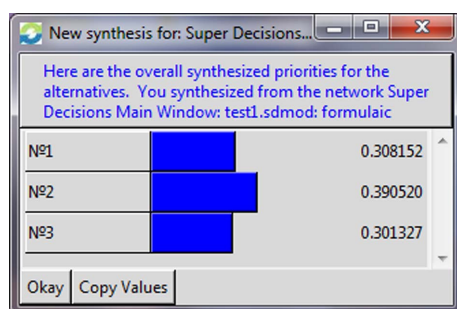


Рис. 13. Результаты определения наиболее нефтегазоперспективного участка Каспийского шельфа Туркменистана

Выводы

Дистанционные аэрокосмические исследования нефтегазоперспективности участков Каспийского шельфа Туркменистана, выполненные с привлечением знаний из геологии, гидрологии, гидрофизики, геоэкологии и системного анализа наглядно показали мульти-междисциплинарную научную направленность дистанционных

аэрокосмических исследований в природопользовании.

Обнаружение на фоне природных температурных аномалий информативных признаков залежей углеводородов по температуре свободной водной поверхности представляется достаточно сложной задачей.

В результате проведенных исследований для повышения вероятности прогнозирования и эффек-

тивності пошуку місцезнаходжень нафти і газу на основі космічної інформації ДЗЗ пропонується, як додатковий інформативний ознак, використовувати градієнт температури поверхневого шару води шляхом обчислення за даними багоспектральних космічних знімків значень температури в двох спектральних діапазонах (дальнього і ближнього інфрачервоного) і ефективну глибину випромінювання за формулою (2).

Литература

- Архіпова Т. О. Оцінка нафтогазоперспективності територій з використанням системного підходу та космічної інформації для наступної геофізичної розвідки / Т. О. Архіпова, З. М. Товстюк, З. В. Козлов, О. Д. Федоровський, В. Г. Якимчук // *Геоінформ.* — 2006. — № 3. — С. 40–45.
- Берлянт А. М. Теорія зображень / А. М. Берлянт — М.: ГЕОС, 2006. — 261 с.
- Козубцов И. Н. Междисциплинарная область знаний — как новая научная специальность / И. Н. Козубцов // *Будущее технической науки: сборник материалов XI Междунар. молодеж. научно-техн. конф.; НГТУ им. Р. Е. Алексеева.* — Нижний Новгород: 2012. — С. 409–410.
- Красавцев М. М. Радиометрическая установка для измерения вертикального градиента температуры в поверхностном слое воды / М. М. Красавцев, А. А. Сивков // *Тр. Главн. геофиз. Обсерватории.* — 1972, — вып. 275. — С. 212–217.
- Куфтарков Ю. М. О температурном скин-слое океана / Ю. М. Куфтарков, Б. А. Нелепо, А. Д. Федоровский // *Докл. АН СССР.* — 1978 — №2. — С. 296–299.
- Лялько В. И. Теоретико-методические основы и результаты поисков газовых месторождений на шельфе Черного моря с использованием материалов космических схемок / В. И. Лялько, В. М. Перерва, Ю. В. Костюченко // в кн. *Геология и полезные ископаемые Черного моря.* — Киев: 1999. — С. 67–79.
- Лялько В. И., Федоровский А. Д., Попов М. А. [и др.] / В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, М. А. Попов Использование данных спутниковой съемки для изучения природоресурсных проблем // *Космічні дослідження в Україні 2002–2004.* — Київ, 2004. — С. 7–14.
- Междисциплинарные исследования в науке и образовании. Официальная страница электронного журнала “Междисциплинарные исследования в науке и образовании”. — Режим доступа URL: <http://mino-esrae.ru/>.
- Никифорович Е. И. Вывод граничных условий для задач теплообмена в газожидкостных системах с фазовыми переходами / Е. И. Никифорович // *Гидромеханика.* — 1987. — Вып. 56. — С. 36–39.
- Никифорович Е. И. Гідротермодинаміка приповерхневого шару рідини / Е. И. Никифорович, О. Д. Федоровський // *Вісн. АН УРСР.* — 1984. — №11. — С. 15–21.
- Саати Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Томас Л. Саати; пер. с англ.; [научн. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова]. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
- Спосіб виявлення нафтогазоперспективних ділянок на морському шельфі / В. І. Лялько, М. О. Попов, С. А. Станкевич, А. І. Воробйов // Патент України на винахід № 88090. Бюлетень № 17 від 10.09.2009 р.
- Федоровский О. Д. Термическая структура границы раздела воздух-вода и оптические методы ее исследования / О. Д. Федоровский, Е. И. Никифорович, В. Ю. Филимонов // *Тр. Междунар. конф. “Гидродинамика и физические процессы в жидкостях и в дисперсных системах”.* — Прага, 24–26 мая. — 1983 г. — С. 317–320.
- Федоровский А. Д. Оптические методы в гидромеханике / А. Д. Федоровский. — Киев: Наукова думка, 1984. — 175 с.
- Федоровский А. Д. Процессы переноса в системах газ-жидкость / А. Д. Федоровский, Е. И. Никифорович, Н. А. Приходько. — Киев: Наукова думка, 1988. — 255 с.
- Федоровский А. Д. Параметрический синтез космических систем зондирования Земли на основе генетического метода / А. Д. Федоровский, М. В. Артюшенко, З. В. Козлов // *Космічна наука і технологія.* — 2004. — Т.10. — № 1. — С. 54–60.
- Философов В. П. Основы морфологического метода поисков тектонических структур / В. П. Философов — Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1975. — 232 с.
- Haralick R. M. Statistical and structural approaches to texture / R. M. Haralick // *Proc. IEEE.* — 1979. — V. 67. — №5. — P. 786.
- Katsaros K. D. The aqueous thermal boundary layer / K. D. Katsaros // *Boundary layer Meteorol.* — 1980. — 18, №1. — p. 107–127.
- Mc Alister E. D. Measurement of total heat flow from the sea surface / Mc Alister E. D. // *Appl. Opt.* — 1964. — №56. — P. 188–201.
- Rabiner L. R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition / L. R. Rabiner // *Proc. IEEE.* — 1989. — V. 77. — №2. — P. 257–285.

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ, ЯК МУЛЬТИ-МІЖДИСЦИПЛІНАРНИЙ НАУКОВИЙ НАПРЯМОК (НА ПРИКЛАДІ ОЦІНКИ НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНОСТІ ДІЛЯНОК КАСПІЙСЬКОГО ШЕЛЬФУ ТУРКМЕНИСТАНУ)

А. В. Соколовська, О. Д. Федоровський

У статті обґрунтовується методична основа дистанційних аерокосмічних досліджень в природокористуванні, як мульти-междисциплинарного наукового напрямку, що використовується в дослідженнях знання з різних наукових дисциплін на прикладі нафтогазоперспективних робіт в зоні Каспійського шельфу Туркменістану.

Ключові слова: дистанційні аерокосмічні дослідження, природокористування, мульти-міждисциплінарність, морський шельф, нафта і газ, геологія, гідрологія, гідрофізика, геоіконіка, системний аналіз

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF REMOTE AEROSPACE RESEARCH IN THE WILDLIFE MANAGEMENT (NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT) AS THE MULTI-INTERDISCIPLINARY RESEARCH FIELD (THE ASSESSMENT OF OIL AND GAS AREAS OF THE CASPIAN SHELF OF TURKMENISTAN AS EXAMPLE)

A. V. Sokolovska, A. D. Fedorovsky

The article reveals the methodological basis of remote aerospace researches in nature resources and environmental management as an interdisciplinary approach that uses knowledge from different studies on the example of the oil and gas exploration in the Caspian shelf of Turkmenistan.

Keywords: remote aerospace research, wildlife management (natural resources and environmental management), multi-interdisciplinary, sea shelf, oil and gas, geology, hydrology, hydrophysics, geoiconica, system analysis

УДК 528.946

Ландшафтная карта полуострова Весловский (остров Кунашир, Курильские острова)

М. Ю. Грищенко^{1,2*}, А. М. Карпачевский¹, Г. М. Леонова¹¹ МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, Москва, РФ² ФГБУ Государственный природный заповедник Курильский, Сахалинская обл., г. Южно-Сахалинск, РФ

В настоящее время полевое крупномасштабное тематическое картографирование не пользуется широким распространением, однако оно позволяет получить подробную и достоверную информацию об изучаемой территории, представленную в удобной для восприятия картографической форме. В настоящей работе представлена методика создания ландшафтной карты полуострова Весловский (остров Кунашир, Курильские острова), находящегося в охранной зоне Курильского природного заповедника. Карта составлена в масштабе 1:10 000 с опорой на объёмные полевые обследования. Карта позволяет получить подробную информацию о рельефе, растительном и почвенном покрове территории.

Ключевые слова: ландшафтные карты, крупномасштабные тематические карты, полевые ландшафтные обследования, остров Кунашир

© М. Ю. Грищенко, А. М. Карпачевский, Г. М. Леонова. 2015

Введение

Статья посвящена составлению ландшафтной карты масштаба 1:10 000 полуострова Весловский, находящегося в южной части острова Кунашир (Курильские острова), по материалам полевых обследований и космическому снимку сверхвысокого пространственного разрешения. В настоящее время работы по полевому крупномасштабному тематическому картографированию не характеризуются широкой распространённостью в связи со значительными финансовыми и временными затратами.

Тематические карты часто составляются при недостаточном объёме полевых работ, что влечёт за собой ошибки и неточности в содержании.

В основе этой работы лежат полевые исследования, проводившиеся в течение июля 2014 года, в ходе которых была обследована территория площадью 12 кв. км и сделано 49 комплексных описаний местности в точках с фиксированными координатами, а также в 20 местах проведено полевое уточнение границ ландшафтных выделов.

Карта составлена в рамках изучения природы Курильского заповедника и его охранной зоны. Без достоверных и подробных знаний о территории заповедника невозможна грамотная организация её мониторинга и охраны. Следует отметить, что карта такого масштаба и содержания создаётся для полуострова Весловского впервые.

Краткая физико-географическая характеристика территории

Остров Кунашир относится к островам Большой Курильской гряды и является среди них самым южным и третьим по площади. Его протяжённость составляет 123 км, ширина изменяется в пределах от 4 до 30 км, средние значения ширины составляют 8–11 км [4]. Он сложен вулканическими породами разного возраста, преимущественно четвертичного периода. Расположенный в пределах геосинклинального пояса, район Большой Курильской гряды характеризуется частой сейсмической активностью и попадает в зону современного вулканизма. На острове Кунашир находятся 4 вулкана: Тятя (1 819 м), Руруй (1 486 м), Менделеева (888 м) и Головнина (541 м), считающиеся действующими. Рельеф острова преимущественно горный, равнинные участки, представленные в основном морскими террасами, характерны для побережий.

Климат Кунашира морской муссонный с достаточно мягкой зимой и прохладным летом. Среднегодовое количество осадков значительно (1 040 мм в год), на острове часты туманы и сильные ветры, что объясняется циркуляцией тёплых и холодных течений в окружающем морском пространстве [1]. Ей же обусловлены различия в микроклимате тихоокеанского (холодное течение) и охотоморского (тёплое течение) побережий.

Флора острова представлена темнохвойными, широколиственными и смешанными лесами. Северная и большая часть острова занята преимущественно темнохвойными лесами, южная часть - смешанными и широколиственными, при этом на охотоморском побережье произрастают практически

* e-mail: m.gri@geogr.msu.ru

исключительно широколиственные леса. В этом проявляется ландшафтная секторность острова: тихоокеанское и охотоморское побережье заметно различаются по природным условиям, несмотря на небольшие размеры острова. На острове проявляется высотная зональность, обычно выделяют шесть высотных поясов: широколиственных лесов, темнохвойных лесов, камменноберезовых лесов, кедрового стланика, верещатников и гольцов [4], однако границы между ними выражены относительно слабо, кроме того, из-за влияния секторности значения абсолютных высот, которым соответствуют эти границы, меняются в зависимости от приуроченности рассматриваемых растительных сообществ к тихоокеанскому или охотоморскому побережью. Травяные сообщества (высокотравные луга) представлены преимущественно на морских террасах и вдоль побережий рек. Отдельно следует отметить заросли бамбучника (*Sasa kurilensis*), произрастающие повсеместно.

На территории Большой и Малой Курильских гряд расположен государственный природный заповедник Курильский и природный заказник Малые Курилы, учрежденные в 1984 и 1982 годах соответственно. На острове Кунашир заповедник занимает два кластера: северный, вокруг вулканов Руруй и Тятя (Тятинский участок) площадью 49 899 га, и южный, захватывающий кальдеру вулкана Головинна и прилегающие территории (Алехинский участок), площадью 15 366 га. Площадь охранной зоны вокруг сухопутных границ участков составляет 41 475 га, также имеется одномильная морская охранная зона площадью 32 000 га [3].

Полуостров Весловский, являющийся объектом изучения в нашей работе, находится в охранной зоне заповедника Курильский. Он расположен на юго-восточной оконечности острова Кунашир, вдаваясь в пролив Измены, и протягивается с северо-северо-востока на юго-юго-запад на 8,5 км, а ширина его колеблется в пределах от 1,5 до 0,7 километров (рис. 1). Полуостров представляет собой песчаную косу, образовавшуюся благодаря аккумулятивной деятельности морских волн и прибоя, является крупнейшей аккумулятивной формой на Курилах. Увеличение площади полуострова продолжается и в настоящее время. Весловский сложен песками разной зернистости, наносимыми океаном.

Рельеф полуострова не отличается разнообразием. Весловский представляет собой слабонаклонную поверхность абразионно-аккумулятивной и аллювиально-морской террасы, осложненную песчаными валами и дюнами разного размера и простирается. Большинство валов протягиваются параллельно южному берегу полуострова и имеют форму полумесяца, выгнутого к югу. По периметру полуострова также протягиваются современные штормовые валы, продолжающиеся песчаными пляжами.

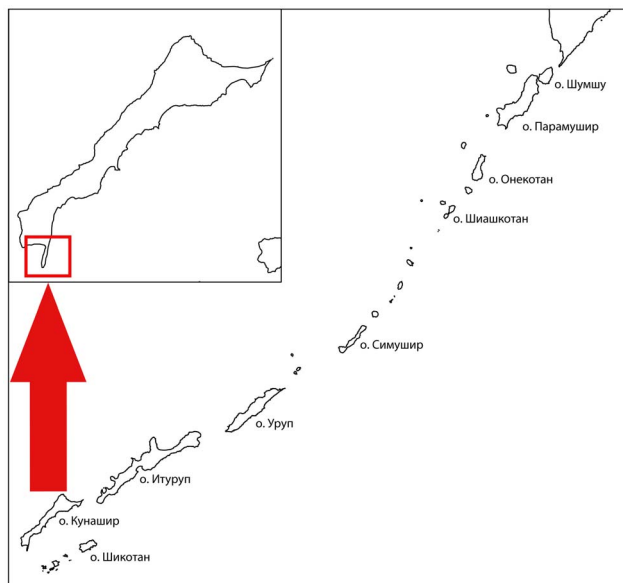


Рис. 1. Положение полуострова Весловского на острове Кунашир и относительно других островов Курильского архипелага

В северо-западной части полуострова находится лагуна, называемая озером Весловским, глубоко вдающаяся в его территорию. Длина ее составляет около 3 км, ширина изменяется от 150 до 700 метров. Центральная и южная части Весловского сильно заболочены, имеются небольшие водоемы.

Древесная растительность на полуострове отсутствует, однако многочисленны кустарники. Ярким доминантом ландшафтов песчаных валов и дюн выступает шиповник морщинистый (*Rosa rugosa*). Растительные группировки в основном представлены травяными сообществами. В литоральной части и на береговых валах господствуют заросли колосняка мягкого (*Leymus mollis*) с участием глени прибрежной (*Glehnia littoralis*), чины японской (*Lathyrus japonicus*) и осоки большеголовой (*Carex macrocephala*). На многочисленных песчаных валах и дюнах произрастают разнотравные сообщества с доминированием красоднева съедобного (*Hemerocallis esculenta*) ириса щетинистого (*Íris set ósa*), лилии даурской (*Lilium pensylvánicum*) с обильным участием шиповника морщинистого (*Rosa rugosa*). Из злаков наиболее часто встречается мятлик луговой (*Poa praténsis*). Плоские участки террасы заняты луговыми сообществами разнообразного состава с участием дерена канадского (*Cornus canadensis*), майника широколистного (*Maiáanthemum dilatátum*), термописа люпиновидного (*Thermopsis lupinoides*) и других видов. В центральной и южной части полуострова плоские пониженные участки террасы между валами заняты заболоченными лугами с осокой скрытоплодной (*Carex lyngbyei*) в качестве доминанта и ситником сомнительным (*Juncus ambiguus*) в более влажных местообитаниях. По берегам болот и водоемов в заболоченной части Весловского произрастает рогоз широколистный (*Týpha latifólia*). В прибрежной части около

лагуны встречаются засоленные группировки из лапчатки Эгеда (*Potentilla egedii*) и солянок (преимущественно солянка Комарова (*Salsola komarovii*)).

Почвенный покров полуострова достаточно однообразен. Представлены почвы двух отделов ствола постлитогенных почв. Под болотами и скрытоплодноосоковыми лугами формируются перегнойные почвы отдела органо-аккумулятивных почв. Доминирующим типом почв на полуострове являются серогумусовые также отдела органо-аккумулятивных почв. На участках террасы, расположенных вблизи болот и заболоченных лугов, отмечены серогумусовые водонасыщенные и оторфованные почвы. Интересно отметить, что под разнотравно-суданокрасодневым-морщинистопыльничковым лугом к востоку от лагуны сформировались аллювиальные серогумусовые почвы на озерном аллювии. На песчаных береговых валах и дюнах сформировались псаммоземы отдела слабо развитых почв. Мощность всех почв невелика, подстилающая порода, почти повсеместно представленная песками разной крупности, залегает в среднем на глубине 12 см, а в псаммоземах — на глубине 3–5 см.

Ландшафтная структура полуострова представлена несколькими урочищами: доминантными являются разнотравно-морщинистопыльничковые луга на серогумусовых почвах на плоских участках террасы в северной части полуострова и повсеместно на валах и скрытоплодноосоковых болотах или заболоченных лугах в пониженных участках террасы между валами в центральной и южной частях полуострова, а также мягкоколосняковые луга на псаммоземах по береговому валу, встречающиеся повсеместно. В целом южная и центральная части полуострова более однообразны, чем северная, что отчасти связано с их более молодым возрастом, а также наличием озерного аллювия в северной части.

Выбор полуострова Весловский для проведения работ по полемому крупномасштабному ландшафтному картографированию объясняется уникальностью происхождения и развития этой территории в совокупности с её слабой изученностью. Кроме того, важным фактором является доступность полуострова — он находится недалеко от сёл Головино и Дубовое.

Методика и хронология полевых работ

Работы по составлению ландшафтной карты полуострова Весловский состояли из трёх этапов: подготовки материалов, полевого этапа и камерального этапа.

Основным материалом для проведения полевых работ являлся фрагмент снимка со спутника World View-2 от 30 июня 2013 года. Снимок представлен в 4 спектральных каналах: панхроматическом (0.45–0.80 мкм), синем (0.45–0.51 мкм), зелёном (0.51–0.58 мкм), красном (0.63–0.69 мкм), ближнем инф-

ракрасном (0.77–0.89 мкм). Пространственное разрешение в панхроматическом канале — 0.5 м, в остальных — 2 м. К снимку применена операция улучшения пространственного разрешения путём комбинирования панхроматического и узких спектральных каналов. По снимку было проведено предварительное визуальное дешифрирование растительного покрова и отмечены предполагаемые ландшафтные контуры.

Полевой этап проходил в течение июля 2014 года. На полевом этапе работы включали в себя два основных вида описаний: точки комплексного ландшафтного описания и картировочные записи по ходу маршрутов. Точки комплексного описания закладывались для наполнения содержанием предварительно выделенных по космическому снимку ландшафтных контуров, картировочные записи велись преимущественно с целью уточнения границ между контурами.

В точках комплексного описания фиксировались следующие характеристики: географические координаты точки (при помощи GPS-навигатора), положение в рельефе и литогенная основа (принадлежность к мезоформе рельефа, её морфологические и морфометрические характеристики, породный состав литогенной основы, наличие микро- и наноформ рельефа), почва (генетические горизонты, определенные в полевых условиях, их глубина, механический состав, структура, цвет по шкале Манселла, каменистость почвы в баллах, наличие новообразований, включений), растительный покров (кустарники с характеристикой их обилия в баллах, ярусы травяного покрова и их высота, общее проективное покрытие в процентах, виды растений с указанием их обилия по шкале Друде), краткое название растительной ассоциации.

Картировочные описания включали в себя краткую характеристику растительных сообществ с указанием обилия видов-доминантов по шкале Друде, название растительной ассоциации, описание мезоформы рельефа.

В результате полевого этапа был создан предварительный вариант крупномасштабной ландшафтной карты на полуостров Весловский, который был доработан в течение последующего камерального этапа.

В течение камерального этапа проведено составление окончательного варианта карты на основе космического снимка со спутника World View-2 и полевых описаний, приуроченных к GPS-точкам, в ГИС-пакете ArcGIS 10.1. Большая часть контуров ландшафтных выделов была выделена на космическом снимке по яркостным и текстурным дешифровочным признакам растительности. Некоторые контура выделялись на местности с помощью GPS-трека.

Оригинальный масштаб карты 1:10 000. Для публикации в настоящей статье он уменьшен пример-

но до 1:30 000 (рис. 2). Структура легенды карты построена на таксономических представлениях о конкретных ландшафтных выделах. Первичным признаком, который выступает в более высоком таксономическом ранге, является геоморфология урочища. Вторичным признаком является видовой состав растительности, который чаще всего обусловлен режимом увлажнения, а также находит отражение в почвообразовании.

Цвета ландшафтной карты строго не регламен-

тируются, поэтому они были подобраны самостоятельно с частичной опорой на ландшафтную карту острова Кунашир [2]. Для видов урочищ цвета выбирались хорошо различимые, для подвидов — оттенки одного цвета.

Анализ результатов

По представленной ландшафтной карте (см. - рис. 2) можно рассмотреть закономерности в пространственном размещении разных видов урочищ. Крупный масштаб исследования позволяет говорить преимущественно об азональных комплексах. При этом они образуют закономерные сочетания.

Как уже было сказано, одним из видов доминантных урочищ выступают разнотравно-морщинистошиповниковые луга на серогумусовых почвах на плоских участках террасы в северной части полуострова и повсеместно на валах. Данный вид урочища приурочен к более высоким и плоским участкам морской террасы, где не происходит застаивания воды. Видовой состав этого урочища неоднороден в разных частях полуострова, соотношение видов-доминантов меняется в пользу разных

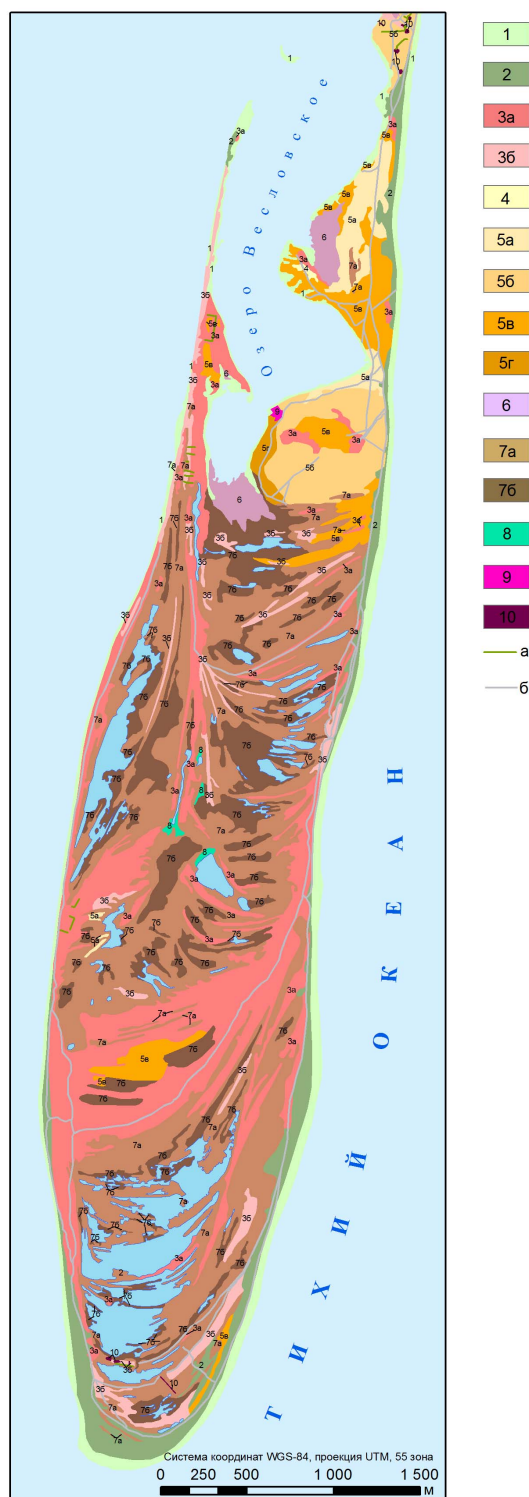


Рис. 2. Ландшафтная карта полуострова Весловский

Урочища

Естественные урочища

1. Песчаные пляжи без почвенно-растительного покрова.
2. Песчаные береговые валы и дюны с песчаными пляжами с разнотравно-мягкоколосняковым лугом без почвенного покрова или на примитивных псаммоземах.

Крупные, высотой до 3,5 м песчаные валы и дюны: 3а — со злаково-разнотравно-морщинистошиповниковым лугом на серогумусовых, серогумусовых оторфованных почвах и псаммоземах; 3б — с низкотравным лугом с участием лютика ползучего на серогумусовых почвах.

4. Субгоризонтальные поверхности абразионно-аккумулятивных и аллювиальных морских песчаных террас плоские с разнотравно-люпиновиднотермопсисовым лугом на серогумусовых почвах.

Субгоризонтальные поверхности абразионно-аккумулятивных и аллювиальных морских террас, осложненные песчаными валами разной высоты: 5а — с разнотравно-морщинистошиповниковым лугом на серогумусовых почвах; 5б — с разнотравно-сведобнокраснодневным-морщинистошиповниковым лугом на серогумусовых почвах; 5в — с разнотравно-лугомятликовым лугом с участием шиповника морщинистого на серогумусовых и серогумусовых оторфованных почвах; 5г — с разнотравно-сведобнокраснодневным с участием шиповника морщинистого лугом на серогумусовых почвах.

6. Плоская низкая затопляемая морская терраса, сложенная озёрным аллювием, с разреженным растительным покровом с преобладанием лапчатки Эггера и солянки Комарова на аллювиальных серогумусовых почвах.

Пониженные участки абразионно-аккумулятивных и аллювиальных морских песчаных террас между валами: 7а — плоские, заболоченные с скрытоплодноосоковыми лугами с участием отдельных видов разнотравья на перегнойных почвах; 7б — вогнутые, с заболоченными скрытоплодноосоков-сомнительноситниковыми лугами на перегнойных почвах.

8. Берега болот и озёр с зарослями розога широколистного.

Природно-антропогенные комплексы

9. Заброшенные карьеры с низкотравным лугом.

10. Заброшенные фортификационные сооружения с разнотравьем и зарослями шиповника с участием сазы курильской.

Линейные объекты

а) Комплексы заброшенных окопов и отвалов земли под шиповником и бамбучником.

б) Полевые дороги.

видов в зависимости от условий местообитания. Повсеместно на валах преобладает шиповник морщинистый (*Rosa rugosa*), тогда как на более плоских участках он уступает место разнотравью, в частности таким видам, как красоднев съедобный (*Hemerocallis esculenta*) ирис щетинистый (*Iris setosa*), лилия даурская (*Lilium pensylvanicum*). Под таким лугами формируются маломощные серогумусовые почвы, иногда оторфованные. Это урочище встречается на протяжении всего полуострова с небольшими модификациями.

Вторым доминантным урочищем выступают скрытоплодноосоковые болота или заболоченные луга в пониженных участках террасы между валами в центральной и южной частях полуострова. В отличие от описанного выше урочища, видовой состав данного более однороден: однозначным доминантом выступает осока скрытоплодная (*Carex lyngbyei*), к которой иногда примешиваются некоторые виды разнотравья. Данное урочище преимущественно встречается в более молодой и низкой южной части полуострова, в северной его трети оно представлено фрагментарно небольшими пятнами.

Повсеместно на полуострове встречаются мягкоколосняковые луга на псаммоземах по песчаным береговым валам, покрывающие наиболее молодые по времени формы рельефа. На некоторых участках для этих урочищ характерна слабая задернованность, почвенный покров зачастую неразвит.

В качестве наиболее интересных комплексов следует упомянуть ландшафты низкой затопляемой морской террасы, сложенной озерным аллювием, с разреженным растительным покровом с преобладанием лапчатки Эгеда и солянки Комарова на аллювиальных серогумусовых почвах.

Также нельзя не отметить наличие природно-антропогенных комплексов на территории полуострова. В первую очередь это заброшенные фортификационные сооружения с разнотравьем и зарослями шиповника морщинистого (*Rosa rugosa*) с участием бамбучника (*Sasa kurilensis*). Они встречаются на самом севере и в южной части полуострова. Также на территории Весловского находятся заброшенные окопы, отвалы которых также поросли бамбучником и шиповником. Их ли-

нейные структуры хорошо прослеживаются по космическому снимку.

Таким образом, можно отметить, что ведущими факторами ландшафтной дифференциации на полуострове выступают увлажненность территории, выражаемая через относительную высоту и морфологические характеристики мезоформ рельефа, а также, вероятно, возраст формирования территории.

Заключение

Полученная ландшафтная карта позволяет изучить геосистемы полуострова Весловский. Она содержит информацию о рельефе, растительном покрове и почвах территории, позволяет выявить факторы ландшафтной дифференциации. Её высокая информативность подтверждает эффективность проведённых полевых работ и квалификацию составителей. Карта может служить основой для дальнейшего изучения природы полуострова как уникального объекта. С привязкой к ландшафтным контурам возможно выделение местообитаний отдельных видов растений и животных. В дальнейшем планируется проведение работ по полевому тематическому крупномасштабному картографированию других участков в пределах южной группы Курильских островов.

Работа выполнена в рамках проектов, поддержанных грантом РФФИ 13-05-00904 и грантом Президента РФ поддержки ведущих научных школ НШ-2248.2014.5.

Литература

1. Алексеева Л. М. Флора острова Кунашир (сосудистые растения) / Л. М. Алексеева. — Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1983. — 128 с.
2. Ганзей К. С. Ландшафты и физико-географическое районирование Курильских островов. / К. С. Ганзей. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 214 с.
3. Государственный природный заповедник Курильский. — Режим доступа: <http://kurilskiy.ru/>. Дата обращения: 30.09. 2014.
4. Неведомская И. А. Природа острова Кунашир // Вестник Сахалин. музея: ежегодник. Южно-Сахалинск. — 1998. — №5. — С. 288–297.

ЛАНДШАФТНА КАРТА ПІВОСТРОВА ВЕСЛОВСЬКИЙ (ОСТРІВ КУНАШИР, КУРИЛЬСЬКІ ОСТРОВИ)

М. Ю. Грищенко, А. М. Карпачевський, Г. М. Леонова

Зараз польове великомасштабне тематичне картографування не користується широким попитом, проте воно дозволяє отримати детальну і достовірну інформацію щодо досліджуваної території, представлена у зручній для сприйняття картографічній формі. У цій роботі представлена методика створення ландшафтно-карти півострова Весловський (острів Кунашир, Курильські острови), який знаходиться в охоронній зоні Курильського природного заповідника. Карта складена в масштабі 1:10 000 на основі польових досліджень. Карта дозволяє отримати детальну інформацію про рельєф, рослинний і ґрунтовий покрив території.

Ключові слова: ландшафтні карти, великомасштабні тематичні карти, польові ландшафтні дослідження, острів Кунашир

LANDSCAPE MAP OF VESLOVSKYY PENINSULA (KUNASHIR ISLAND, KURIL ISLAND)

M. J. Gpishzhenko, A. M. Karpazhevsky, G. M. Leonova

Currently, high-scale field surveys-based thematic mapping is not very widespread, though it provides detailed and accurate information about the study area, presented in representative cartographic form. In this paper, authors present the technique of Veslovsky peninsula landscape map composition (Kunashir island, Kuril islands) based on wide field surveys. Veslovsky peninsula is located in the buffer zone of the Kuril nature reserve. The scale of the map is 1:10 000. The map provides detailed information on the topography, vegetation and soil cover of the study area.

Keywords: landscape maps, high-scale thematic maps, field landscape research, Kunashir island

урбанізованих територій, а часто-густо і в межах поселень.

Ігнорування ролі геоекологічних умов при виборі ділянок під звалища ТПВ та нехтування природоохоронними заходами призвели до того, що багато звалищ були влаштовані на досить несприятливих з геолого-гідрогеологічної точки зору ділянках, і стали джерелами інтенсивного негативного впливу на природне середовище. Одним з характерних прикладів є звалище твердих побутових відходів у селищі Горенка Київської області (південна околиця Пуща Водиці).

При облаштуванні та експлуатації звалищ твердих побутових та промислових відходів необхідно використовувати матеріали багатоспектральних космічних зйомок, а також проводити екологічні моніторингові спостереження. Основні характеристики будь-якого полігону відходів повинні включати такі дані: геологічні, ландшафтно-геоморфологічні, гідрогеологічні та гідрологічні умови, розмір звалища, об'єм (потужність) відходів та їхній склад. Дешифрування матеріалів космічної зйомки дозволяє виявити і уточнити геолого-структурні і ландшафтно-геоморфологічні особливості території на якій розташовано ТПВ а також визначити шляхи та ареали забруднення довкілля шкідливими сполуками.

За даними космічних зйомок можна виділити три класи звалищ. До першого класу відносяться великі звалища-полігони, площа яких становить від 10 і більше га, з потужністю складування відходів у десятки метрів, об'ємом більше мільйона кубометрів. Другий клас — це середні за розмірами полігони площею від 2 до 10 га, об'ємом декілька сотень тисяч кубометрів (максимум до мільйона кубометрів). Третій клас — малі звалища площею від 0,2 до 2 га і потужністю складування відходів 3–5 м, об'ємом не більше декількох десятків тисяч кубометрів. Площа стихійних звалищ складає десятки квадратних метрів, потужністю не більше метра. Звалище побутово-будівельних відходів у селищі Горенка можна віднести до другого класу.

2. Коротка характеристика природних умов звалища

У геоморфологічному відношенні звалище знаходиться на другій надзаплавній терасі р. Ірпінь (рис. 2). Алювіальні відклади незначної потужності спочивають на відкладах київської свити. Київський мергель є ложем річки Ірпінь і саме тут у минулому було закладено кілька кар'єрів з його видобутку, оскільки потужність четвертинних відкладів складає не більше 5–8 м. Кар'єри постачали сировину для місцевого цегляного заводу, але наприкінці минулого століття були закинуті. Мергель — це глина морського походження, з певним відсотком карбонатної складової, водонепроникна. Заповнившись

водами з четвертинних відкладів, а також з харківського горизонту, кар'єри перетворились на штучні озера.

Зараз на берегах найбільшого з них влаштовано зону відпочинку — пляж, літні кафе, стоянки для автомобілів тощо, а інший, розташований біля високої тераси, ближчий до Горенки використовують як звалище будівельно-побутових відходів. Глибина кар'єру — понад 30 м, площа 8,0 га (рис. 3, 4).

Відходи підвозяться на майданчик, який розташовано на березі штучного озера, після чого їх згортають у воду. Отже, звалище представляє собою озеро заповнене відходами, які щільним шаром вкривають водну поверхню. Це — різномірне будівельне сміття, пінопласт, деревина, зіпсована побутова техніка, пластикові пляшки, фарба, лаки тощо.

Зона відпочинку, що розташована на берегах штучного озера, знаходиться у 100–200 м на північ від звалища. Влітку під час теплої, спекотної погоди тут збираються сотні відпочиваючих.

3. Методика досліджень

Дистанційні дослідження звалища та його впливу на довкілля проводились на основі космічних знімків Landsat-5–7–8. Як основу використано панхроматичні знімки високого розрізнення Quick Bird доступні у мережі Інтернет. Проаналізовано масив дистанційних даних, отриманих у весняний, літній та осінній періоди 2003–2014 рр. (рис. 5). Знімки обробляли з допомогою програмних продуктів Photoshop і ENVI.

4. Результати досліджень

Звалище побутово-будівельних відходів у с. Горенка з досить високою ймовірністю дешифрується на багатозональних знімках Landsat по одночасному зростанню коефіцієнту спектральної яскравості у 7

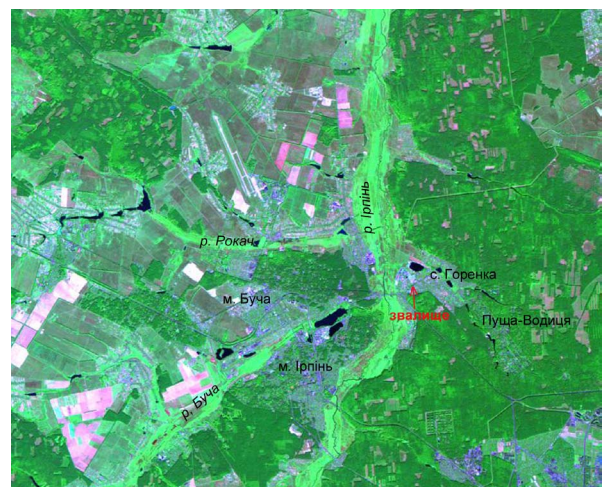


Рис. 2. — Київська область. Долина р. Ірпінь. Космічний знімок Landsat-5 від 23. 09. 2007 р.



Рис. 3. Горенське звалище побутово-будівельних відходів. Наземний знімок



Рис. 4. Горенське звалище побутово-будівельних відходів. Космічний знімок Quick Bird



2003



2014

Рис. 5. Дистанційний моніторинг Горенського звалища побутово-будівельних відходів. Космічні знімки Quick Bird, панхром
Online ISSN 2313-2132

(2,1–2,35 мкм), 4 (0,75–0,9 мкм), та 2 (0,53–0,69 мкм) каналів. (Рис. 6). Ця ж комбінація каналів дозволяє вивчати вплив звалища на довкілля (забруднення рослинного покриву, ґрунтів, поверхневих вод фільтратом).

На зображеннях, отриманих синтезом 7-го, 4-го та 2-го каналів, відображається ареал забруднення долини р. Ірпінь фільтратом зі звалища. У даному випадку збільшується яскравість у 7-му та 2-му каналах і одночасно досить стрімко спадає у 4-му каналі.

У складі фільтрату встановлено значний вміст сірки та органічних сполук, метан.

На космічних зображеннях дешифруються шляхи міграції забруднюючих речовин долиною р. Ірпінь (див. рис. 4, 6).

Виявлено, що фільтрат зі звалища відкритим колектором скидається в систему іригаційних каналів заплави р. Ірпінь. Жодних очисних споруд у місті витоку немає (рис. 7 а). У результаті наземних експедиційних дослідження виявлено, що стічні води заб-

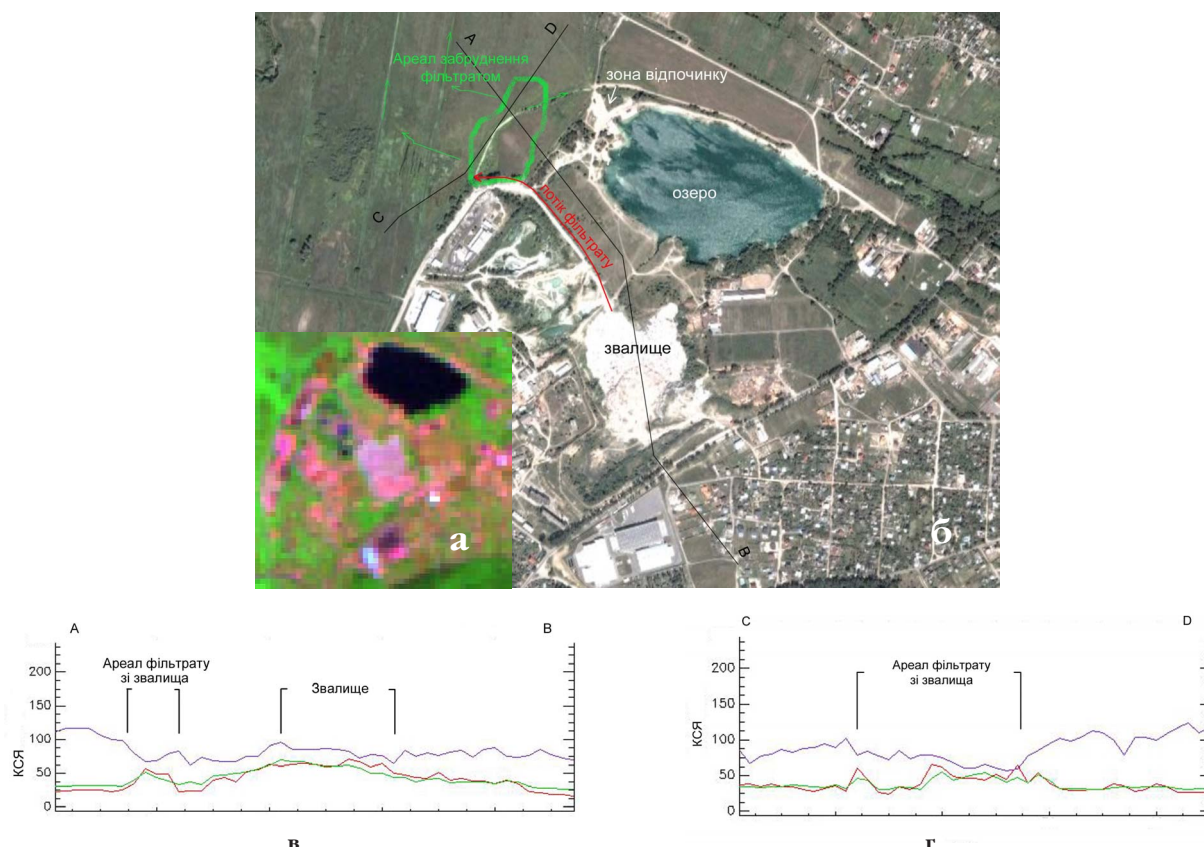
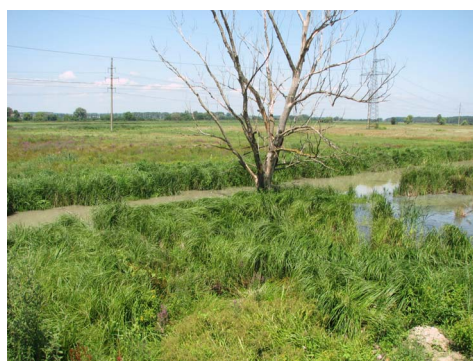


Рис. 6. Результати вивчення Горенського звалища та його околиць: а — КЗ Landsat 5 від 07.07.2008, кольоровий композит, канали 7, 4, 2; б — базовий КЗ Quick Bird від 2014; в — спектриметричний профіль по лінії А-Б; г — спектриметричний профіль по лінії С-Д.

На спектриметричних профілях: — червона крива — 7-й канал (2,09–2,34 мкм), синя крива — 4-й канал (0,75–0,9 мкм), зелена крива — 2-й канал (0,53–0,61 мкм) (профілі виконано у програмі ENVI)



а



б

Рисунок 7. Результати польових досліджень Горенського звалища ТПВ: а — місце витоку фільтрату у долину р. Ірпінь; б — потік фільтрату у відкритому колекторі (на смітті спостерігається білий осад солей сірки)

руднено вуглеводнями, сірководнем та іншими шкідливими сполуками. Різкий запах сірководню відчувається на відстані 100–200 м. від ТПВ. Дебіт фільтрату складає щонайменше 50 л/год. Концентрація вуглеводневих газів (перш за все метану) у приземному шарові атмосфери перевищує 0,1 об. % (за даними течешукача вуглеводневих газів ТГП 94). На дні дренажного каналу (скидового колектору) утворюється осад солей сірки (Рис. 7 б).

У місті скиду фільтрату в долині р. Ірпінь утворився ареал забруднення площею щонайменше 30 000 м². Системою осушувально-зрошувальних каналів, які прокладено у долині, стічні води зі звалища мігрують у напрямку зони відпочинку а також на північ, потрапляючи у русло р. Ірпінь (див. рис.-б). Таким чином встановлено, що Горенське звалище побутово-будівельних відходів закладено і експлуатується з грубим порушенням державних сані-

тарних норм і правил. Воно являється активним забруднювачем довкілля.

Література

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2013 рік (Електронний ресурс). Міністерство регіонального розвитку, будівництва, житло-комунального господарства України. Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/zhkh/Blahoustri-terytoriy/-stan-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-v-ukrayini-za-2013-rik-694401/>.
2. Експрес випуск. 23.05.2014 р. № 183/0/06.4 вн.-14. Утворення та поводження з відходами у 2013 році/Державна служба статистики України. — К., 2014. — 8 с.
3. Ігнатенко О. П. Куди подіти сміття. Житлово-комунальне господарство України. Інформаційно-аналітичне видання для фахівців. №5 (68) червень 2014 р. — с. 37–39.

ДИСТАНЦИОННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СВАЛОК ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В. Е. Филиппович, А. И. Кудряшов, А. Г. Мычак

Представлены результаты изучения экологического состояния территории, на которой расположена свалка твердых бытовых отходов (поселок Горенка Киевской области). На основании изучения данных дистанционного зондирования Земли (КС Landsat, Quick Bird) выявлены ареалы загрязнения окружающей среды вредными соединениями. Установлено, что свалка эксплуатируется с грубым нарушением государственных санитарных правил и норм. Представлена история возникновения и развития свалки. Разработаны основы методики дистанционного мониторинга территорий, на которых расположены свалки.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, свалка твердых бытовых отходов, загрязнение окружающей среды

REMOTE ENVIRONMENTAL MONITORING OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

V. E. Philippovich, A. I. Kudryashov, A. G. Mychak

The results of the study of the ecological state of the territory on which the landfill of municipal solid waste (village Gorenka Kyiv region). On the basis of remote sensing data (Landsat, Quick Bird) found areas of pollution harmful compounds. It has been established that operate the landfill with a gross violation of the state sanitary rules and norms. The history of the origin and development of the landfill. Developed by the basic methods of remote monitoring of the areas which location landfill.

Keywords: remote sensing of the Earth, dump solid waste pollution

УДК 528.8.04

Визначення зміщення бульбашок газу при спливанні з дна до поверхні моря з використанням супутникової інформації

В. І. Лялько, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман*

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

Робота присвячена задачі пошуку покладів вуглеводнів на акваторії Чорного моря. Вивчаються температурні аномалії, які викликані підйомом газових бульбашок. Показано, що при підйомі газових бульбашок з морського дна до поверхні моря вони зміщуються під впливом морських течій по латералі на достатньо великі відстані (сотні метрів), що необхідно враховувати при пошуку і розвідці покладів вуглеводнів. Наведені основи методики врахування переміщення газових бульбашок під впливом течій.

Ключові слова: супутникові зйомки, тепловий і радіохвильовий діапазони супутникових зйомок, аномалії пониження температур поверхні моря, Чорне море, морські течії, батиметрія, шари моря, пряма і обернена задачі, спливання бульбашок газу, швидкості течій, зміщення потоків газових бульбашок під впливом течій

© В. І. Лялько, А. І. Воробйов, А. М. Гейхман. 2015

Вступ

Важливим критерієм прогнозу нафтогазоносності в межах акваторії Чорного моря за допомогою аерокосмічних методів є прояви геофлюїдодинамічних процесів у вигляді плівки нафти на поверхні моря та аномалій пониження температури (АПТ) поверхні моря в теплий сезон за рахунок спливання бульбашок газу з дна моря [1–10].

Супутникові методи дозволяють одержувати зображення ділянок поверхні Землі різних розмірів з просторовим розрізненням від кількох метрів до 1.1 км. Наприклад, метеорологічний супутник NOAA дозволяє реєструвати зображення Землі з періодичністю 4 години, що дає змогу шляхом вимірів параметрів поверхні моря (в тому числі температури поверхні моря (ТПМ)) здійснювати моніторинг проявів геофлюїдодинамічних процесів у вигляді міграції газу і природної нафти з глибинних покладів [11].

Виділення на космічних знімках NOAA потужних газових факелів в районі Двуреченського грязьового вулкану (та власне і самих вулканів) дає надію на те, що при використанні знімків з більш високою розрізняювальною здатністю і подальшим вдосконаленням методик обробки і інтерпретації даних можна буде виявляти і більш слабкі виділення газів. Застосування методів ДЗЗ при вирішенні задачі пошуку ВВ суттєво відрізняють їх від вирішення цих же задач на суходолі. Для одержання достовірної інформації необхідні високоякісні космічні знімки, що вимагає дотримання ряду умов: таких як відсутність хмарності, безвітряна погода, спокійне море, мінімальність про-

явів гідрологічних процесів та висока розрізняювальна здатність.

При прогнозі положення покладів ВВ необхідно врахувати не тільки неперпендикулярність розривних порушень, вздовж яких відбувається міграція вуглеводнів з глибинних покладів до дна моря, але і зміщення АПТ за рахунок зсуву бульбашок газу течіями.

У даній роботі описані алгоритми і програми обчислення параметрів течій (швидкостей і напрямків), які є основою для впровадження нової супутникової технології пошуку покладів нафти і газу, що базується на визначенні і врахуванні зміщення супутникових аномалій відносно місць виділення вуглеводнів з дна моря. Нижче також наведені приклади застосування розроблених програм.

1. Первинні дані

Інформацію про швидкості течій у шарах морської товщі для заданого часу можна отримати за результатами обчислень прогностичної моделі у Чорноморському центрі Морського гідрофізичного інституту (МГІ) НАН України [8], який є частиною Міжнародної системи Європейських Центрів Морських Прогнозів у проєкті MYOCEAN. Більш детальна інформація доступна за адресою у Інтернет: (<http://www.myocean.eu>).

Спеціалістами МГІ НАН України розроблена програма MCBROWSE, яка перетворює дані з цього сайту (швидкості течій, альтіметрія і т. п.) у форматі системи ASCII.

Дані про параметри течій (швидкості і напрямки) і температури в шарах морської товщі оновлюються кожні 3 години. Ці дані знаходяться у файлі NET.NC — цифровому файлі у кодах ASCII,

*ageixman@casre.kiev.ua

Таблиця
Інтервали глибин шарів моря

1	0–2.5 м	14	100–112.5	27	900–1000 м
2	2.5–5 м	15	112.5–125	28	1000–1100 м
3	5–10 м	16	125–150 м	29	1100–1200 м
4	10–15 м	17	150–175 м	30	1200–1300 м
5	15–20 м	18	175–200 м	31	1300–1400 м
6	20–25 м	19	200–250 м	32	1400–1500 м
7	25–30 м	20	250–300 м	33	1500–1600 м
8	30–40 м	21	300–400 м	34	1600–1700 м
9	40–50 м	22	400–500 м	35	1700–1800 м
10	50–62.5 м	23	500–600 м	36	1800–1900 м
11	62.5–75 м	24	600–700 м	37	1900–2000 м
12	75–87.5 м	25	700–800 м	38	2000–2100 м
13	87.5–100 м	26	800–900 м		

при цьому задається 38 інтервалів глибин шарів Чорного моря (Таблиця).

На даному етапі сітка спостережень гідрофізичних параметрів має розмір 5×5 км. В опис вхідних даних входять 5 гідрологічних параметрів: рівень моря (альтиметрія в точках), температура води в залежності від глибини, широтна компонента швидкості течії в залежності від глибини (вдovж широти), меридіональна компонента швидкості течії (на північ, вдovж паралелі) і солоність в промілі. Параметри повністю оновлюються один раз у три місяці (90 днів). Дані з архіву (тригодинні поля) зберігаються тільки 90 днів. Осереднені дані (на базі 12 годин) зберігаються три роки. У каталозі REANALIS зберігається архів даних з 1971 до 2011 роки. У цьому каталозі задається 35 рівнів глибини, а не 38 як для 3-х годинних даних. На сайті Myocean можна подивитись і вибрати космічні знімки, а потім зробити заказ на сайті LANDSCAPE. Його електронна адреса сайту: Myocean.eu.

На сайті http://www.Dvs.next.ua/index_ru.shtml виставлено необроблені космічні знімки (КЗ). Це сайт відділу дистанційних методів досліджень МГІ НАН України. Інформація оновлюється 5 разів на тиждень. На сайті приводиться таблиця супутників з датами та часом спостереження. На цьому сайті можна також подивитись та замовити карти температури поверхні води (космічні знімки у тепловому діапазоні).

Використовуються дані зйомок супутниками: MODIS, NOAA (наразі використовуються КЗ, зроблені з космічних апаратів (КА) NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19) і METOP (наразі використовуються знімки, зроблені з супутника METOP-2).

Для перегляду КЗ в меню сайту http://www.Dvs.next.ua/index_ru.shtml необхідно увійти в “МОРСКОЙ ПОРТАЛ НККУ”. Цей сервіс призначено для простого доступу потенціальних користувачів до оперативних даних моніторингу. На цьому сайті зберігається інформація стосовно Чорного і Азовського морів. Архів даних включає супутникові дані та результати модельних розрахунків для сукупності параметрів морської поверхні.

2. Алгоритми і програми вирішення прямої і оберненої задач зносу вуглеводнів течіями у морській товщі

Для вирішення задач зносу бульбашок газу і пов'язаних з ними аномалій температури, а також плівок нафти на поверхні моря відносно місць виділень вуглеводнів з дна моря розроблено програмний комплекс. Цей програмний комплекс дозволяє вирішувати задачу трансформації файлів швидкостей течій в форматі .nc у набір карт швидкостей течій в північному та східному напрямках у *grid*-форматі та обчислювати та вводити поправки за зсув аномалій пониження температур та нафтових плям на поверхні моря відносно місця їх виділення з дна моря. Вирішується також пряма задача, у якій за точками виділення ВВ на дні моря та параметрами течій обчислюють положення АПТ та плівок нафти на поверхні моря. Обернена задача використовується для визначень положення точок виділення ВВ за АПТ та за плівками природної нафти на поверхні моря.

Пряма задача

Зсуви у напрямках X, Y, Z , якій зазнають потоки бульбашок внаслідок дії на них морських течій, можна у першому наближенні записати у вигляді [5]:

$$X_j = \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{xi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (1)$$

$$Y_j = \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{yi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (2)$$

$$Z_j = \sum_{i=1}^{n_j} Z_i \quad (3)$$

У виразах (1)–(3) j — номер точки спостереження бульбашок газу, X_j, Y_j — зсуви газових бульбашок в процесі спливання в широтному та меридіональному напрямках відповідно для даної спостереженої точки, Z_i — товщина відповідного водного шару (див. табл.1), Z_j — глибина моря в даній точці виходу бульбашок, V_{ci} — вертикальна швидкість спливання газових бульбашок у шарі морської води з номером i , $V_{xi}(x_{ji}, y_{ji})$ — швидкість течії у i -ому шарі води у напрямку на схід, $V_{yi}(x_{ji}, y_{ji})$ — швидкість течії у i -ому шарі води з у напрямку на північ у визначеній точці j . Вираз $\frac{Z_i}{V_{ci}}$ визначає час, за який бульбашки газу проходять шар з номер

Обернена задача

Глибина продовження задається, виходячи зі значень карти рельєфу морського дна в даній точці в залежності від просторових метричних координат. В результаті продовження визначаються координати

$$X_j = X_{0j} - \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{xi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (4)$$

$$Y_j = Y_{0j} - \sum_{i=1}^{n_j} \left(\frac{Z_i}{V_{ci}} \right) V_{yi}(x_{ji}, y_{ji}) \quad (5)$$

У виразах (4)–(5) значення — координати точок в метрах, в яких спостережені бульбашки на поверхні моря. Інші величини мають той же сенс, що і у виразах (1)–(2).

На КЗ координати точок на поверхні Землі звичайно наведено в градусних (географічних) координатах — широта та довгота. Однак, внаслідок того, що швидкість морських течій і швидкість спливання бульбашок газу вимірюються у метрах за секунду, для реальних розрахунків необхідно узгодити одиниці виміру положення точок на поверхні моря та швидкості течій. Здається більш зручним переводити положення точок на поверхні моря з градусної міри в метричну, ніж переводити швидкості течій та швидкості спливання бульбашок у градусний вимір. Для ділянок з порівняно невеликими розмірами нема необхідності враховувати еліптичність Землі і тим більш враховувати те, що Земля має форму геоїда. Тому достатньо для нашої мети використовувати залежності, які пов'язують лінійні та градусні виміри у припущенні кулеподібної форми Землі.

Блок-схеми на рис. 1 та рис. 2 показують послідовність вирішення прямої і оберненої задач. Рис. 1 містить послідовність рішення прямої задачі, тобто знаходження точок, де можуть спостерігатися теплові аномалії або нафтові плями за точками виділення нафти та бульбашок газу з дна моря. Блок-схема на рис. 2 містить послідовність рішення оберненої задачі, тобто обчислення координат точок виділення бульбашок газу або нафти з морського дна за спостереженими температурними аномаліями та нафтовими плямами на поверхні моря.

3. Експериментальні дослідження впливу течій на зміщення бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря

Використання супутникових методів для пошуку покладів метану базується на виявленні АПТ верхнього шару моря, пов'язаних з виверженнями бульбашок газу з дна моря і спливанням їх до поверхні моря. При цьому відбувається процес газліфтингу - винос з дна до поверхні моря холодних придонних вод, що приводить до утворення АПТ поверхні моря у теплий сезон року. Прояви міграції газів з глибинних покладів вуглеводнів (ВВ) при достатніх обсягах вивержень газу з дна моря можуть реєструватись за допомогою супутникових методів, що дозволяє



Рис. 1. Блок-схема вирішення прямої задачі. Визначення координат точок аномалій понижених температур поверхні моря, що утворюються при виносі холодних природних вод бульбашками газу при спливанні з дна моря з врахуванням течій

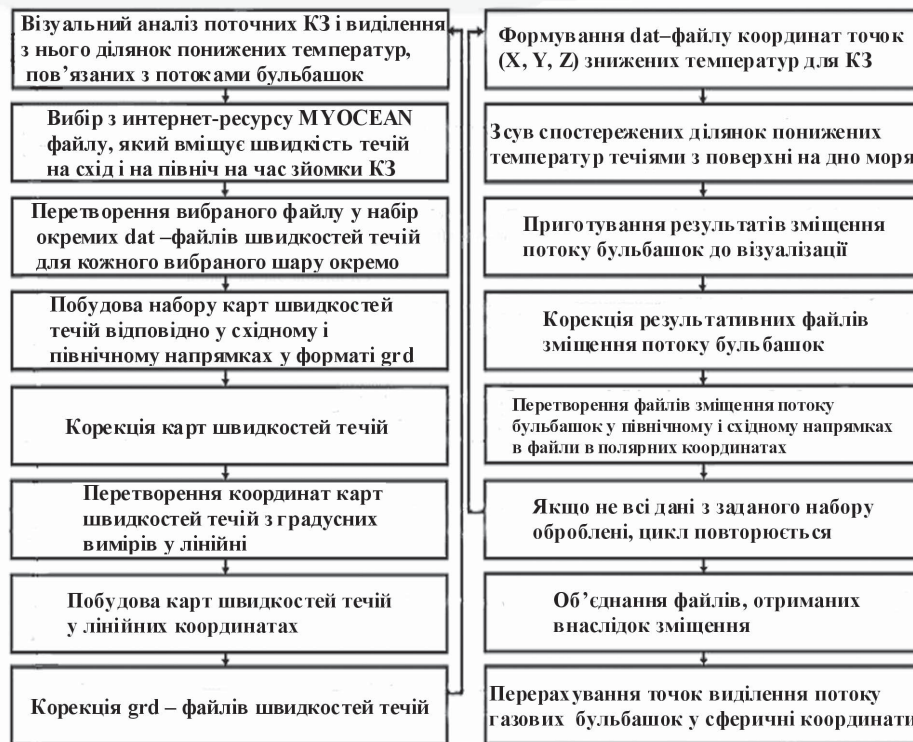


Рис. 2. Блок-схема вирішення оберненої задачі. Визначення координат точок виділення потоку газових бульбашок на морському дні за координатами спостережених на супутникових зображеннях аномалій понижених температур поверхні моря з врахуванням течій

виявляти ділянки для постановки детальних геофізичних робіт. З метою забезпечення ефективності виявлення виділень газу вибирають літній період часу, сприятливий як з точки зору більш простих і стабільних у часі моделей циркуляції морської товщі, так і сприятливий для фіксування контрасту фонових та аномальних температур. Період часу для проведення робіт на заданій площі пошуку покладів газу вибирають з урахуванням даних метеорологічних спостережень у попередні роки і прогнозу погоди на поточний рік.

У товщі моря діють течії, напрям і швидкості яких змінюються в залежності від часу, глибини і географічного положення ділянки моря [8,10]. Швидкості течій у береговій зоні Чорного моря не перевищують 20–30 см/с, а в області основної Чорноморської течії (шириною 40–80 км) швидкості течій на поверхні моря можуть досягати 40–50 см/с [2].

У глибоководній частині Чорного моря швидкості течій становлять 5–15 см/с і зменшуються з глибиною [8]. Течії у товщі моря приводять до зміщення АПТ поверхні моря відносно ділянки виверження метану за рахунок зносу бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря.

На рис. 3 наведено осереднену залежність зміни швидкості течій з глибиною. З цього рисунку видно, що найбільша по модулю швидкість течії спостерігається підйому бульбашок газу та зсуви потоків бульбашок в напрямі на північ та схід залишається досить значним.

На рис. 5 представлена залежність модулів швидкості морських течій від глибини для точок з координатами вздовж лінії 44.5 градуса північної широти. Точки лінії простягаються від 35.2 до 37.4 градусів східної довготи з кроком 0.1 градуса.

За результатами досліджень [8, 9] встановлено, що переважаюча частина бульбашок газу має швидкості підйому в діапазоні 0.2–0.3 м/с. Такі швидкості підйому мають бульбашки газу із радіусом від 1.2 до 20 мм [8]. При середній швидкості спливання бульбашок газу 0.2 м/с для підйому їх з глибини 500 м до поверхні моря необхідно 2500 с. У разі одношарової моделі моря і швидкості течії у ній 0.3 м/с зміщення місця спливання бульбашок газу на поверхню моря відносно місця їх виділення з дна моря може становити 750 м.

Ці обчислення свідчать про значні зміщення АПТ відносно місця виверження газу при наявності течій у морській товщі. Для кожної дати зйомки на КЗ виділяють прямокутну область моря, для якої обчислюють моделі циркуляції і відповідні параметри швидкості течій, задають географічними координатами кутів області пошукових робіт. При цьому задають рік, місяць, дату, і час зйомки КЗ, а також швидкості і товщину кожного з шарів моделі циркуляції. Моделі циркуляції морської товщі обчислюють на основі квазіоперативного моніторингу гідрофізичних полів [8].

Для заданої прямокутної ділянки кожного КЗ обчислюють карту температур (КТ). Зміщення пікселів для кожної карти визначають за значеннями на-

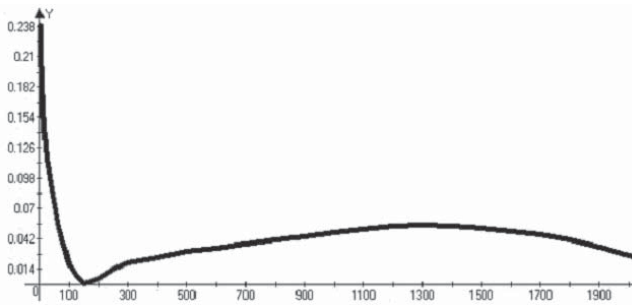


Рис. 3. Осереднена залежність змін модулів швидкості течій з глибиною. Вісь Y — швидкості у метрах за секунду, X — глибина в метрах

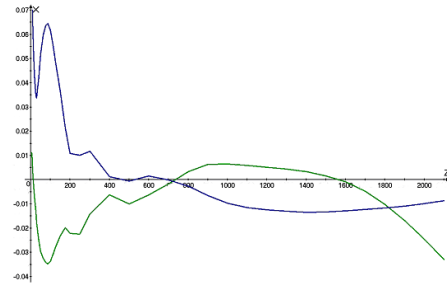


Рис. 4. Залежності швидкості морських течій від глибини у точці з координатами 44.25 градусів північної широти і 37.55 градусів східної довготи на час 00.00 годин 01.06.2013. Зеленим кольором показано графік залежності значень східної складової швидкостей течій від глибини, синім — північної складової швидкостей течій. Вісь Y — швидкості течій у метрах за секунду, вісь Z — глибина в метрах

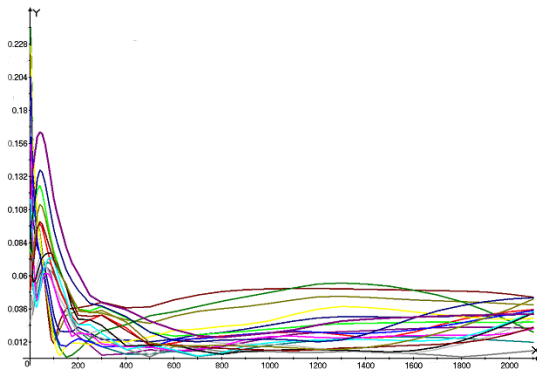


Рис. 5. Залежності модулів швидкості течій від глибини моря для точок з координатами вздовж лінії 44.5 градуса північної широти на час 00.00 годин 01.06.2013 р. Точки знаходяться на лінії, яка простягається від 35.2 до 37.4 градусів с. д. з кроком 0.1 градуса. Координата x — глибина моря в метрах, y — модуль швидкості в метрах за секунду. Під рисунком наведені кольори графіків і координати точок спостереження

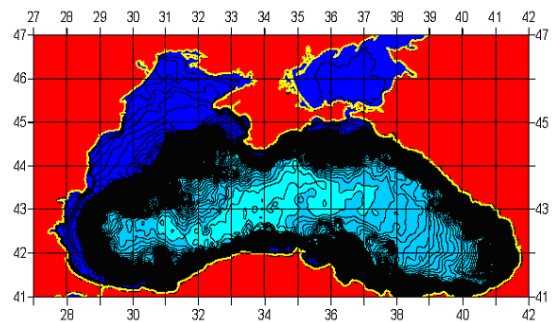


Рис. 6. Карта Чорного моря. Латеральні координати наведені в градусах. Червоним кольором показано суходіл. Синіми та блакитними кольорами показано акваторію Чорного та Азовського морів в залежності від глибини. Жовтим кольором показана берегова лінія.

прямків і швидкостей течій, які обчислюють за параметрами відповідної моделі циркуляції. Загальний знос течіями бульбашок газу при їх спливанні з дна до поверхні моря дорівнює сумі зносів у кожному з N шарів морської товщі за формулами (4) і (5).

Необхідно зазначити, що напрямки течій та їх абсолютні величини ми представляємо у вигляді GRD-файлів, які зручно представити у вигляді векторних карт. Як вже було зазначено вище, є можливість побудувати карти швидкостей течій на 38 рівнях в діапазоні глибин від 0 до 2100 м.

На рис. 6 наведено карту батиметрії Чорного моря, на якій географічні координати задані у градусах. Приклади векторних карт течій для центральної частини Чорного моря в шарах 0–2.5 м, 40–50 м та 87.5–100 м відповідно наведено на рис. 7, рис. 8 та рис. 9. На цих рисунках стрілками показано напрям течій, а довжина стрілки вказує на абсолютну величину цих течій.

Не зважаючи на те, що застосована сітка вимірів дуже груба (сітка приблизно 5 на 5 кілометрів), можна спостерігати досить складний характер течій у Чорному морі і значну зміну як напрямків цих течій, так і їх величину. На наведених рисунках можна також спостерігати фрагменти Основної Чорноморської течії, вздовж якої швидкості течій досяга-

ють максимальної величини. Можна спостерігати як лінійний напрям течій (наприклад, фрагменти Основної Чорноморської течії), так і значну кількість замкнутих, колових течій, так званих рингів, (не менше 5–6). Далі буде показано, як наведені течії впливають на зміщення бульбашок газу.

На всіх наведених вище і надалі картах значення швидкості та напрямків течій відносяться до точки початку відповідного вектора. Значення швидкостей течій відображаються довжиною вектора.

З урахуванням швидкостей течій зміщення точок, де ці бульбашки газу можуть бути спостережені на поверхні моря, відносно точок їх виділення на дні моря, наведено на рис. 10. Для цього експерименту розглянуто випадок коли лінія виділення газових бульбашок лежить на морському дні на південь від Криму. Точки виділення бульбашок газу лежать на широті 43.25 градуса північної широти. Ці точки розташовані від 34.5 градусів східної широти до 39.0 градусів східної широти з кроком 0.1 градус. Можна бачити, що діапазон зміщень за довготою лежить у межах 0.01 градуса відносно точки виділення газу на морському дні.

З рис. 10 видно, що найбільша величина зміщення бульбашок газу становить 400 метрів. В першому модельному експерименті будемо вважати, що точ-

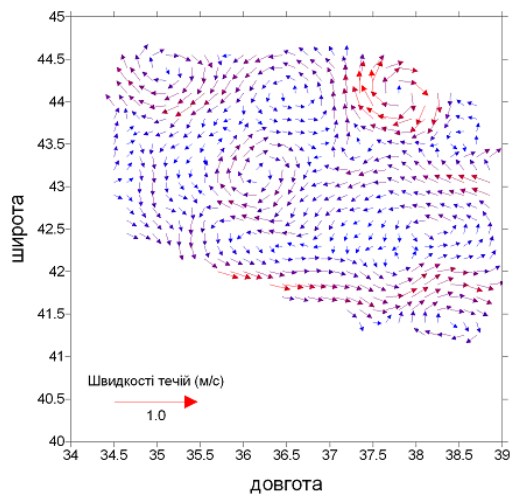


Рис. 7. Карта швидкостей течій на час 00.00 годин 01.06.2013 року у шарі 0–2.5 м. Латеральні координати наведені в градусах, а швидкості течій — у метрах за секунду

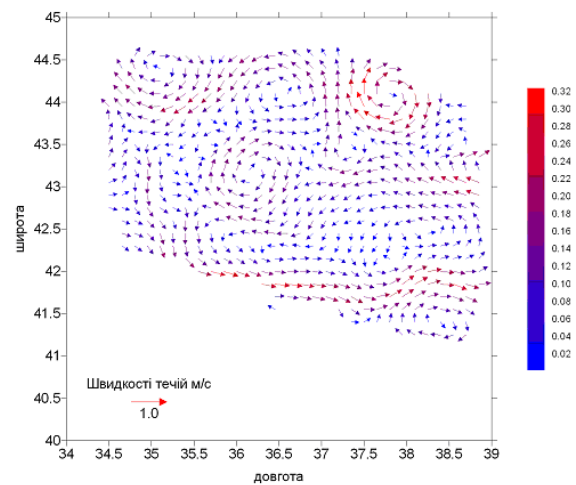


Рис. 8. Карта швидкостей течій на час 00.00 годин 01.06.2013 року у шарі 40–50 м. Латеральні координати наведені в градусах, швидкості течій — у метрах за секунду

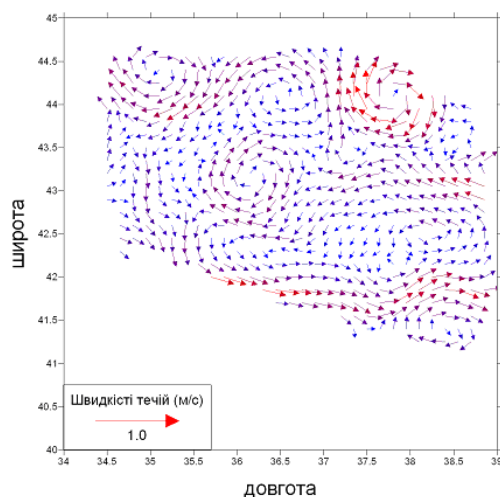


Рис. 9. Карта швидкостей течій на 00.00 годин 01.06.2013 року у шарі 87.5–100 м. Латеральні координати наведені в градусах, швидкості течій — у метрах за секунду

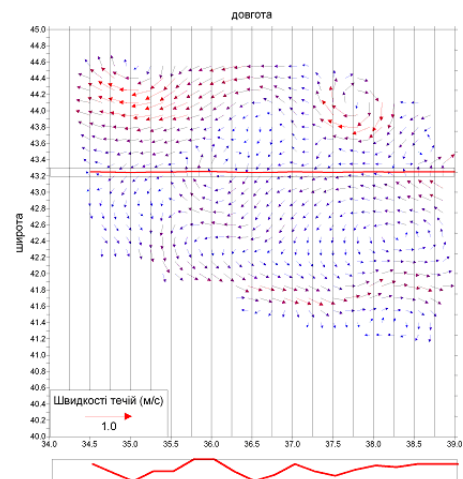


Рис. 10. Карта зміщення бульбашок газу в інтервалі глибин 0–2.5 метри. Швидкості течій дані у метрах за секунду. Латеральні координати і зміщення бульбашок газу наведені в градусах. На нижньому рисунку зміщення бульбашок газу дані у збільшеному масштабі. Діапазон їх зміщень лежить у межах 0.01 градуса. Використані карти швидкостей течій на 00.00 годин 01.06.2013

ки виділення бульбашок газу з морського дна, з урахуванням гіпсометрії морського дна, знаходяться на лінії 43.25 градуси північної широти. Також будемо вважати, що бульбашки газу мають близькі діаметри і мають приблизно однакові швидкості спливання — приблизно 0.2 метри за секунду.

На рис. 11 зміщення газових бульбашок наведено в метрах. Можна бачити, що для цієї лінії точок інтервал значень зміщень бульбашок газу по латералі в процесі їх підйому з морського дна до поверхні моря знаходиться в інтервалі від – 400 м до 400 м.

З аналізу наведених вище карт зміщень можна зробити висновок про те, що зміщення бульбашок газу і плівок нафти відносно місць їх вивержень на дні моря залежать від глибини моря і швидкості течій у шарах відповідної ділянки моря.

Для даного чисельного експерименту будемо вважати, що кожна точка морського дна є точкою

виділення газових бульбашок. На рис. 13 наведено зміщення газових бульбашок, які останні зазнали в процесі спливання з морського дна з урахуванням морських течій. Як відмічалось, поведінка морських течій досить складна, і з глибиною напрям цих течій може мінятися у широкому діапазоні.

З рис. 12 видно, що найбільші зміщення бульбашок газу спостерігаються в межах Основної Чорноморської течії та у північно-східній (російській) частині Чорного моря. Цей висновок стосується часу та дати спостереженого поля швидкостей морських течій (00.00 за Гринвічем на дату 01.06.2013 року).

З рис. 12 видно, що карта зміщень бульбашок газу має складний вигляд. Зокрема, на ній спостерігаються ділянки, де зміщення бульбашок газу майже відсутні. Можливо, для цих ділянок не треба враховувати зміщення газових бульбашок, але необхідно

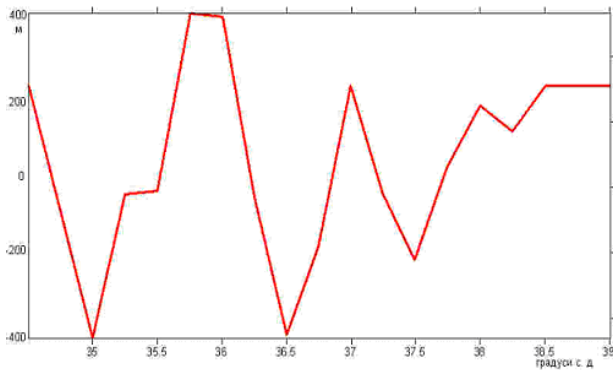


Рис. 11. Зміщення бульбашок газу в процесі спливання з дна до поверхні моря. Величина зміщень наведена у метрах. Використані карти швидкостей течій на час 00.00 годин 01.06.2013 року

виявляти ці ділянки. На деяких ділянках течії мають складну форму, на деяких — близьку до лінійної. Ці ефекти виникають, можливо, внаслідок різного напрямку зміщень бульбашок газу у різних шарах морської води.

Висновки і рекомендації

Враховуючи періодичність процесів вертикальної міграції ВВ, для підвищення надійності прогнозу нафтогазоносності необхідно обов'язково застосовувати супутниковий моніторинг — періодичну реєстрацію супутникових зображень моря у різних спектральних діапазонах (тепловому, видимому і радіохвильовому), що дозволяє виявляти зміни фізичних характеристик морської поверхні і приповерхневого шару морської товщі, які можуть бути пов'язані з проявами міграції ВВ з глибинних покладів нафти і газу. При нафтогазопошукових роботах на морі рекомендуються наступні етапи робіт:

Виявлення газоперспективних ділянок рекомендується проводити за допомогою наведених нижче процедур:

- обробка і накопичення рядів зображень супутника NOAA, зареєстрованих у тепловому діапазоні і виділення аномалій середнього пониження температур поверхні моря в теплі сезони року;
- статистичний аналіз і сегментація теплових зображень високого просторового розрізнення за зображеннями Landsat (за наявності цих супутникових зображень);
- обчислення карт частот аномалій зниження температур поверхні моря (за рядами зображень супутника NOAA);
- перевірка супутникових аномалій пониження температур поверхні моря за рахунок газових виділень за допомогою гідроакустичного профілювання;

Визначення місця розташування нафтогазоносних об'єктів виконується за комплексом інформації — за супутниковими аномаліями, часовими сейсмоакустичними і сейсмічними розрізами. шля-

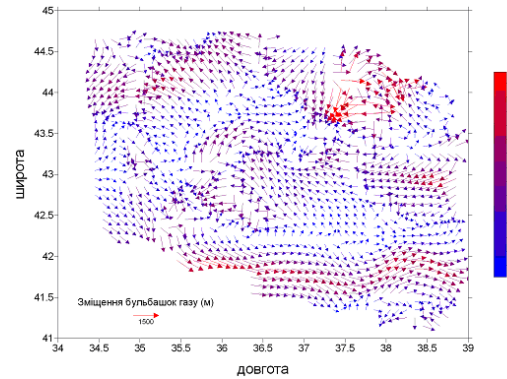


Рис. 12. Карта зміщення бульбашок (в метрах), якщо вважати кожен точку морського дна джерелом виділення бульбашок газу. Зміщення наведені в метрах, латеральні координати — в градусах

хом простежування зверху вниз з урахуванням кутів нахилу розривних порушень і їх простеження до глибин залягання продуктивних горизонтів.

Виявлення ділянок виділень природної нафти за радіохвильовими зображеннями включає такі етапи:

- створення бази даних нафтових забруднень різної природи;
- виявлення ділянок виділень природної нафти із дна моря за радіолокаційними зображеннями;
- врахування зносу плівок нафти течіями за картами напрямків і швидкостей вітру (за даними зондів скатерометрами (QuickSCAT) та супутників ERS або RADARSAT);
- обчислення і інтерпретація карт щільності плівок нафти на поверхні моря з урахуванням геолого-геофізичної інформації.

Детальне вивчення систем розривних порушень у верхній частині геологічного розрізу включає:

- сейсмоакустичне профілювання (на частотах 60–300 Гц) на ділянках з виявленими супутниковими аномаліями;
- простеження розривних порушень на ділянках виділень нафти й газу на глибину залягання нафтогазоперспективних горизонтів на основі інтерпретації сейсмоакустичних і сейсмічних часових і глибинних розрізів.

Комплексна інтерпретація супутникової й геолого-геофізичної інформації включає прогноз покладів нафти й газу й підготовку рекомендацій на буріння глибоких свердловин з використанням інтегрованих карт на основі геоінформаційних технологій (ГІС-технологій). Особлива увага приділяється створенню й використанню векторних шарів розривних порушень, характеристик приводного вітру, напрямків і швидкостей течій, маршрутів інтенсивного руху судів та інші, які використовуються при визначенні природи нафтових плівок на поверхні моря.

Вибір перспективних напрямків робіт у регіоні рекомендується на основі комплексного аналізу супутникової і геолого-геофізичної інформації. За

результатами аналізу супутникової інформації визначаються місця найбільш значних за об'ємами виділень газу й просочувань нафти з дна моря. На основі аналізу сейсмічної інформації визначаються шляхи міграції ВВ, положення в геологічному розрізі геологічних структур і пасток вуглеводнів.

Пошук ділянок газонасності виконується за аномаліями пониження температур поверхні моря. Ці аномалії утворюються за рахунок виносу холодних придонних вод газами, що мігрують із глибинних покладів ВВ. Використання багаторазових зйомок і обробка зображень, зареєстрованих у тепловому діапазоні, дозволяє підвищити ефективність супутникових методів виділення аномалій, пов'язаних з міграцією ВВ з глибинних покладів газу. Обробка зображень виконується з використанням процедур інтерактивного накопичення зображень, зареєстрованих у тепловому діапазоні, побудови карт частот аномалій температурного поля і їхньої спільної інтерпретації.

Пошук ділянок нафтоносності базується на виявленні на поверхні моря за радіохвильовими зображеннями плівок природної нафти, які утворюються за рахунок її просочування із глибинних покладів і включає обробку матеріалів зйомок у радіохвильовому діапазоні, виявлення ділянок моря з підвищеною щільністю плівок природної нафти, за якими прогнозують положення перспективних об'єктів.

Для підвищення ефективності нафтогазопошукових робіт необхідно використовувати супутникові знімки з високим просторовим розрізненням і забезпечувати кратність покриття зйомками, необхідну для виявлення малих за обсягами вивержень вуглеводнів з дна моря на ділянці робіт. Для підвищення ефективності виявлення покладів ВВ необхідно визначати і враховувати зсув аномалій течіями потоку ВВ із дна до поверхні моря за допомогою розроблених способів, алгоритмів і програм, що дозволяє накопичувати ряди супутникових зображень, зареєстрованих у різні періоди часу на основі врахування змін у моделях циркуляції моря і параметрах течій.

Література

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. За редакцією В. І. Лялька і М. О. Попова. Київ, Наукова думка, 2006. — 357 с.

2. Блатов А. С., Иванов В. А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря / А. С. Блатов, В. А. Иванов. — Киев: Наукова думка, 1992. — 244 с.
3. Патент України на винахід № 77811. Спосіб пошуку нафтогазоносних об'єктів на морському шельфі / Воробйов А. І., Лялько В. І., Попов М. О.; опубл. 15.01.2007. Бюл. № 1.
4. Патент України на винахід № 94322. Спосіб пошуку покладів газу на морі / Воробйов А. І., Лялько В. І.; опубл. 26.04.2011. Бюл. № 8.
5. Патент України на винахід № 104515. Спосіб виявлення покладів газу з урахуванням зносу аномалій пониження температур поверхні моря / Лялько В. І., Коротаєв Г. К., Воробйов А. І., Ратнер Ю. Б., Холод А. Л., Гейхман А. М.; опубл. 10.02.2014. Бюл. № 3.
6. Патент України на винахід № 107124. Спосіб пошуку покладів газу з урахуванням зносу аномалій пониження температур поверхні моря / Воробйов А. І., Лялько В. І., Гейхман А. М.; опубл. 25.11.2014. Бюл. № 22.
7. Геолого-структурно-термоатмогеохімічне обґрунтування нафтогазоносності Азово-Чорноморської акваторії / П. Ф. Гужик, І. Д. Багрий, З. Я. Войцицький, В. В. Гладун та інші. — К: Логос, 2010. — 419 с.
8. Дорофеев В. Л., Коротаев Г. К., Мартынов М. В., Ратнер Ю. Б. Система мониторинга гидрофизических полей Черного моря в квазиоперативном режиме // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон та комплексное использование ресурсов шельфа: 36. науч. прац. Вип. 11 / НАН України, МГІ, ІГН, ОФ ІнБЮМ, редкол.: Иванов В. О. (гол. ред) та інші. Севастополь, 2004. — С. 9–23.
9. Метановые сипы в Черном море. Средообразующая и экологическая роль / Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. / Под. Ред. Г. Г. Поликарпова. — Севастополь: НПП ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. — 405 с. Ил. 156. Табл. 21.
10. Океанология: средства и методы океанологических исследований / Смирнов Г. В., Еремеев В. Н., Агеев М. Д., Коротаев Г. К., Ястребов В. С., Мотыжев С. В.; Междунар. асоц. акад. наук; РАН; Нац. акад. наук Украины. — М.: Наука, 2005. — 795 с.
11. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых // Под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялька и д-ра техн. наук М. А. Попова. Киев: Карбон. — Лтд. 2012. — 436 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА ПРИ ВСПЛЫТИИ СО ДНА ДО ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В. И. Лялько, А. И. Воробьев, А. М. Гейхман

Работа посвящена задаче поиска ловушек углеводородов на акватории Черного моря. Изучаются температурные аномалии на поверхности моря, связанные с подъемом газовых пузырьков с морского дна. Показано, что в процессе подъема пузырьков газа с морского дна до поверхности моря они смещаются под влиянием морских течений по латерали на достаточно большие расстояния (сотни метров), что необходимо учитывать при поисках и разведке месторождений углеводородов на акватории. Приведены основы методики учета сноса газовых пузырьков под влиянием течений.

Ключевые слова: спутниковые снимки, тепловой и радиоволновой диапазоны спутниковых снимков, аномалии по-

нижения температур поверхности моря, Черное море, морские течения, батиметрия, скоростные слои моря, прямая и обратная задача, географические координаты, всплывание пузырьков газа, скорости течений, смещение потоков газовых пузырьков под влиянием течений

DEFINITION OF DISPLACEMENT OF GAS VIALS AT EMERGING FROM A BOTTOM TO A SEA SURFACE WITH USING OF SATELLITE INFORMATION

V. I. Lyalko, A. I. Vorobiev, A. M. Geykhman

The work is devoted to the problem of finding hydrocarbon traps in the waters of the Black Sea. Temperature study on the sea surface anomalies associated with the gas bubbles rise from the seabed. It is shown that in the process of raising the gas bubbles from the seabed to the surface of the sea, they move under the influence of ocean currents laterally relatively long distances (hundreds of meters) that must be considered in prospecting and exploration of hydrocarbon deposits in the area. Shows the basic methods of accounting demolition of gas bubbles under the influence of currents.

Keywords: satellite imagery, thermal and radio band satellite imagery, anomalies in sea surface temperatures decrease, the Black Sea, sea currents, bathymetry, high-speed layers of the sea, direct and inverse problems, geographic coordinates, floating bubbles of gas flow velocity, displacement flow bubbles of gas under the influence of currents

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТОКУ (АБСОРБЦІЇ РОСЛИНАМИ) CO_2 ДЛЯ ОСНОВНИХ АГРОКУЛЬТУР УКРАЇНИ

2. 1. Характеристика природних умов та біофізичних показників агрокультур на дослідних ділянках

Дослідні роботи проведені в межах Лісостепової зони України (Баришівський та Фастівський райони Київської області). Вивчені процеси кругообігу вуглецю в системі “атмосфера-рослинність” для чотирьох основних агрокультур (пшениця, соняшник, кукурудза, соя).

Пшениця

Досліджувалися два поля з посівами озимої пшениці: пшениця остиста та пшениця безоста. Поле з пшеницею безостою характеризувалося більшою густиною посіву. Інформація про дослідні поля та перелік вимірів, які здійснювалися, наведені в табл. 2.1.

Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву пшениці, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю

На рис. 2.1 видно, як відбувалося обстеження поля (а) та закладання дослідних точок (б). Збір біомаси здійснювався із закладених точок на яких проводилися виміри поглинання та вивільнення діоксиду вуглецю. Всі культури зрізалися на рівні кореню, зважувалися на місці, вкладалися в пакети, підписувалися та транспортувалися до лабораторії з досліджень природних ресурсів дистанційними методами ЦАКДЗ. Після транспортування використовувалися біометричні виміри рослин: вимірялися висоти рослин, обраховувалася кількість стеблин у пробі та визначалися кількісні характеристики листя пшениці (ширина і довгота), встановлювалася їх точна кількість на стеблі, визначався етап вегетації культури.

Періодичні вимірювання листяної поверхні рослин дають можливість визначити показник, який характеризує фотосинтетичну роботу рослин за вегетацію. Цей показник називається фотосинтетичним потенціалом. Його розраховують, підсумовуючи площі листя на 1 га посіву за кожний день вегетаційного періоду. Підсумовування проводять графічно. В досліді висота стебла вимірюється в період повного цвітіння або перед збором. Середню висоту рослин визначають сумою промірів всіх рослин на 1 м^2 , розділене на число рослин. Метрівки закладають в 4–8 місцях ділянки в залежності від її розміру. В наших роботах обрахунок площі листя був здійснений в одних вимірах з однієї точки, з інших в двох на одне поле. Далі здійснювався обрахунок індексу листяної площі (LAI – Leaf Area Index), який знаходиться за формулою 2.1 [7]:

$$LAI = S_L / S_A \quad (2.1)$$

де S_L – сумарна площа листя, м^2 ; S_A – площа поля ділянки, на яку розраховується індекс, м^2 .

За даними [1, 2, 4–6] є декілька розроблених методологій визначення площі листя злаків:

Метод безпосереднього визначення площі листя. Суть цього методу полягає в тому, що з типових рослин відбирають кілька проб листя, розкладають їх на папері і обводять контури. Після цього за допомогою планіметра або палетки визначають площу проб листя. Якщо кожна проба характеризується п'ятьма рослинами, то надалі визначається площа листяної поверхні однієї рослини проби, як середня з п'яти. Для прискорення здійснення обрахунків використовують сканування листків та за спеціальними графічними програмами обраховують площу листя (кількість пікселів пе

Таблиця 2. 1

Характеристика дослідних полів Баришівського району із посівами озимої пшениці

Сорт озимої пшениці	Точка досліджу	Географічні координати дослідного поля	Дати здійснення вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Пшениця безоста (поле з підсівом)	T1 = T60	N50 20 33 E 31 33 45,7	06.06.2014 р. 12:11 (NEE) 12:21 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву пшениці, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
			24.06.2014 р., молочна стиглість, 15:19 (NEE) 15:30 (ER)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
			01.07.2014 р., воскова стиглість, 12:13 (NEE_1) 12:23 (ER_1) 12:38 (NEE_2) 12:47 (ER_2) 13:00 (NEE_3) 13:11 (ER_3)	Аналогічно до переліку вимірів пшениці безостої 24.06.2014
Пшениця осиста (поле без підсіву), сорт «Сонечко»	T2 = T61	N50 20 31 E 31 33 49,5	06.06.2014р. 12:47 (NEE) 12:57 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву пшениці, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
			01.07.2014 р., воскова стиглість, 11:00 (NEE_1) 11:10 (ER_1) 11:23 (NEE_2) 11:32 (ER_2) 11:43 (NEE_3) 11:53 (ER_3)	Аналогічно до переліку вимірів пшениці безостої 24.06.2014 р.



а)



б)

Рис. 2. 1. Обстеження поля: а) визначення густини посіву та ширини міжрядь; б) закладання дослідних точок

ремножують на графічне розрізнення). Метод безпосереднього визначення площі є найточнішим методом обрахунку площі.

Метод висічок. З дослідної ділянки беруть не менше 10 рослин і обривають листя. Потім з цього листя за допомогою загостреної трубки роблять 20–50 висічок загальною площею не менше 10–20 см^2 і зважують. Одночасно визначають загальну масу всього листя проби. Далі розраховують площу листя за формулою (2. 2) [4]:

$$S = (S_i \cdot n) / P_i$$

де S — загальна площа листя проби, см^2 ; P — загальна маса листя, г; S_i — площа висічок, см^2 ; n — число висічок; P_i — маса висічок, г.

Знаючи кількість рослин на 1 га, можна обчислити їх загальну листяну поверхню.

Метод вимірів параметрів листя. Даний метод полягає в замірі довжини та найбільшої ширини листка. Добуток цих величин множать на поправочний коефіцієнт і отримують площу листяної пластинки. Поправочні коефіцієнти такі: для пшениці — 0.67; для ячменю — 0.68; для кукурудзи — 0.85; для проса — 0.72. Цей метод найбільш поширений для визначення площі листя злаків.

При обрахунку площі листя пшениці нами використовувався метод вимірів параметрів (довжини та ширини) листяної пластини, із застосуванням поправочного коефіцієнту 0.67 при обрахунку. Результати вимірів наведені в табл. 2. 2.

Проби пшениці відібрані 1 липня 2014 р. характеризувалися майже стовідсотковим сухим листям. На 100 рослин зустрічалися шість не поживних листків (п'ять прапорцевих та одне перше після прапорцевого). Можна припустити, що в сукупній масі вони становлять 2 фотосинтезуючі рослини на 100 рослин.

На подальших етапах проведення досліджень полів з посівами пшениці необхідно відмічати дати сівби, початку і повних сходів та настання фаз розвитку рослин: розвитку третього листка, кушіння, виходу у трубку, колосіння, цвітіння, стиглості (молочна, воскова, повна). Для отримання високої точ-

ності визначення вуглецевого балансу, та вимірів вуглецевих потоків озимих культур, слід виконувати наземні дослідження на всіх фазах (10 фаз) розвитку рослин, закладати мінімум три дослідні точки для дотримання статистичної достовірності експерименту і проводити виміри у трьох повторностях. Крім того, необхідне належне приміщення для здійснення вимірів, опису та висушення біомаси рослин, а також лабораторні ваги, що забезпечуватимуть високу точність вимірів, оскільки в даному дослідженні виміри проводилися на не лабораторних вагах.

Проаналізувавши літературні джерела, зокрема [2], пропонується для обрахунку чистої продуктивності фотосинтезу в подальших дослідженнях використовувати рекомендації А. А. Нечипоровича (1973), формулу Кідда-Веста-Бріггса, а для обрахунку наростання сирової та сухої біомаси, структури врожаю рекомендації М. М. Горянського (1970).

Оскільки виміри CO_2 та польові дослідження були проведенні лише за короткого періоду, без врахування всіх фаз розвитку рослин, вони не відображають ні добової, ні річної циркуляції потоку CO_2 , а лише показують тимчасові значення CO_2 у момент здійснення вимірів. Потрібно проведення подальших фенологічних спостережень та вимірів для збору необхідного об'єму інформації. Відкритим залишається питання повної методології проведення досліджень.

Соняшник

Дослідження соняшнику проводилися на полях Баришівського та Фастівського районів. Детальна інформація про виконані дослідження наведена у табл. 2. 3.

Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю.

Таблиця 2. 2

Результати вимірів листової площі та LAI для озимої пшениці

Дата відбору проби	06.06.2014 р.		24.06.2014 р.		01.07.2014 р.	
Культура	Пшениця безоста	Пшениця остиста	Пшениця безоста	Пшениця остиста	Пшениця безоста	Пшениця остиста
Середня площа листової пластини, см^2	24 (n=10)	12 (n=10)	19 (n=10)	Виміри не проводилися	62 (n=20)	0.028 (n=10)
Середня площа усіх листяних пластин однієї рослини, см^2	71 (n=10)	36 (n=10)	57 (n=10)	Виміри не проводилися	185 (n=20)	0.084 (n=10)
Індекс листяної поверхні (LAI)	4.60 (n=10)	1.75 (n=10)	3.69 (n=10)	Виміри не проводилися	1.2 (n=20)	0.0042 (n=10)

Таблиця 2. 3

Характеристика дослідних полів Баришівського та Фастівського району із посівами соняшнику

Культура	Точка досліджу, район	Географічні координати дослідного поля	Дати здійснення вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Соняшник	T5 = T65 Баришівський район	N50 17 13.4 E31 35 14.9	06.06.2014 р. 16:06 (NEE) 16:18 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
Соняшник	T2 = T130 Фастівський район	N50 02 17.0 E30 01 54.7	20.06.2014 р. 12:28 (NEE) 12:42 (ER)	Аналогічно до переліку вимірів соняшнику
Соняшник	T5 = T65 Баришівський район	N50 17 13.4 E31 35 14.9	24.06.2014 10:34 (NEE_1) 10:46 (ER_1) 10:56 (NEE_2) 11:07 (ER_2)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю

Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю. Запасні жири в насінні соняшнику синтезуються з вуглеводів, що утворюються в листках в процесі фотосинтезу. Чим більша площа асиміляції (площа листяної поверхні), тим більший показник поглинання діоксиду вуглецю з атмосферного повітря.

Площа листяної поверхні обраховується за формулою (2. 3) наведеною у [3]:

$$S = -0.1063 - 15.6618L + 17.4572H + 0.574L^2 + 0.0617H^2 \quad (2. 3)$$

де: S — площа листової пластинки, см; L — довжина листка, см; H — ширина листка, см.

Виміри параметрів листків здійснювалися за [7] як проілюстровано на рис. 2. 2. Результати вимірів наведені в табл. 2. 4.

Результати проведених досліджень соняшнику аналогічні таким вимірюванням пшениці. Необхідно лише додати, що при вимірі та обрахунку площі листя соняшнику слід використовувати метод без-

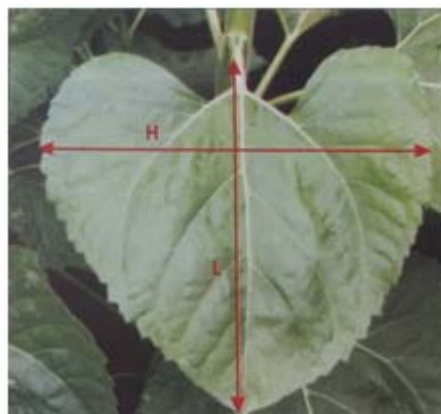


Рис. 2. 2. Виміри параметрів листків соняшнику

посереднього визначення площі листя, оскільки при здійсненні обрахунків за формулою (2. 3) передбачається, що форма листя відповідає формі, наведеній на рис. 2. 2. Але практика показує, що не все листя соняшника відповідає наведеній формі, зустрічаються листя більш трикутної загостреної форми, у формі з відсутніми “вушками”, або ж зрощені дві листяні пластини. Необхідно використовувати метод безпосереднього визначення площі листя, що дозволить уникнути похибок при обрахунках.

Таблиця 2. 4

Результати вимірів листяної площі та LAI для соняшнику

Дата відбору проби	06.06.2014 р. Баришівський р-н	20.06.2014 р. Фастівський р-н	24.06.2014 р. Баришівський р-н
Середня сумарна площа усіх листових пластинок однієї рослини, см ²	1827 (n=3)	5232 (n=5)	4213 (n=6)
Індекс листової поверхні (LAI)	1.97 (n=3)	4.19 (n=5)	6.2 (n=6)

Кукурудза

Дослідження кукурудзи виконано на полях Баришівського та Фастівського районів. Детальна інформація про проведені дослідження наведена у табл. 2.5.

Слід зазначити, що поле на території Фастівського району із посівами кукурудзи було забур'янене. На 25 м² попадав один соняшник. Сходи нерівномірні. Вимір листяної площі (листяної площини), здійснювався з використанням методу вимірів параметрів листя — довжини та найбільшої ширини листка з перемноженням отриманих показників на перевідний коефіцієнт 0.67.

За результатами обрахунку листяної площі для кукурудзи спостерігається їх ріст відповідно до фази розвитку культур. Хоча кількість культур у пробі необхідно збільшити до п'яти культур, і проводити виміри на спеціальних вагах, які забезпечать вимір проби, не розбиваючи її (табл. 2.6).

Соя

Дослідження сої проведено на полях Баришівського та Фастівського районів. Детальна інформація про виконані дослідження наведена у табл. 2.7. Вимір листяної площі (листяної площини) здійснювався з використанням методу вимірів параметрів листя — довжини та найбільшої ширини листка з перемноженням отриманих показників на перевідний коефіцієнт 0.74. Результати вимірів наведені в табл. 2.8.

За результатами обрахунку листяної площі для кукурудзи спостерігається їх ріст відповідно до фази розвитку культур. Кількість культур в пробі необхідно збільшити до 10 культур, і проводити виміри на спеціальних вагах, які забезпечать здійснення виміру проби не розбиваючи її. Також при подальших дослідженнях слід проводити дослід на всіх фазах розвитку сої. Для оцінки фази розвитку культури варто залучати провідних фахівців.

Таблиця 2. 5

Характеристика дослідних полів Баришівського та Фастівського району із посівами кукурудзи

Культура	Точка дослід, район	Географічні координати дослідного поля	Дати вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Кукурудза	T4 = T64 Баришівський район	N 50 20 18.8 E 31 33 58.8	06.06.2014 р. 14:30 (NEE) 14:42 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
Кукурудза	T1 = T129 Фастівський район	N 50 02 15.4 E 30 01 54.1	20.06.2014 р. 11:55 (NEE) 11:48 (ER)	Аналогічно до переліку вимірів кукурудзи Баришівського полігону
Кукурудза	T3=T64 Баришівський район	N 50 20 18.8 E 31 33 58.8	24.06.2014 13:52 (ER)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), вимір вивільнення (ER) діоксиду вуглецю. Величина поглинання (NEE) не здійснювалася через несприятливі кліматичні показники

Таблиця 2. 6

Результати вимірів листяної площі та LAI для кукурудзи

Дата відбору проби	06.06.2014 р. Баришівський р-н	20.06.2014 р. Фастівський р-н	24.06.2014 р. Баришівський р-н
Середня сумарна площа всіх листяних пластин однієї рослини, см ²	1351 (n=2)	2707 (n=5)	3633 (n=3)
Індекс листяної поверхні (LAI)	0.96 (n=2)	2.34 (n=5)	3.88 (n=3)

Таблиця 2. 7

Характеристика дослідних полів Баришівського та Фастівського району із посівами сої

Культура	Точка досліджу, район	Географічні координати поля	Дати вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Соя	T3 = T63 Баришівський район	N50 20 16.6 E31 33 57.2	06.06.2014 14:07 (NEE) 14:00 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
Соя	T3 = T131 Фастівський район	N50 02 16.6 E30 01 46.3	20.06.2014 13:02 (NEE) 13:17 (ER)	Аналогічно до переліку вимірів сої Баришівського полігону
Соя	T2 = T63 Баришівський район	N50 20 16.6 E31 33 57.2	24.06.2014 р. 12:21 (NEE_1) 12:36 (ER_1) 12:27 (NEE_2) 12:54 (ER_2) 13:15 (NEE_3) 13:24 (ER_3)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю

Таблиця 2. 8

Результати вимірів листяної площі та LAI для сої

Дата відбору проби	06.06.2014 р. Баришівський р-н	20.06.2014 р. Фастівський р-н	24.06.2014 р. Баришівський р-н
Середня сумарна площа всіх листяних пластин однієї рослини, см ²	186 (n=10)	174 (n=20)	628 (n=20)
Індекс листяної поверхні (LAI)	1.17 (n=10)	1.04 (n=20)	3.77 (n=20)

Список літератури до розділу 2. 1

1. Зінченко О. І. Рослинництво: підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; за ред. О. І. Зінченка. — К.: Аграрна освіта, 2001. — 591 с.
2. Карашук С. В. Продуктивність та якість зерна сортів ячменю ярого залежно від фону живлення в умовах південного Степу України: автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.01.09 / С. В. Карашук; Херсон. держ. аграр. ун-т. — Херсон, 2011. — 20 с.
3. Кириченко В. В. Ідентифікація морфологічних ознак соняшнику (*Helianthus L.*) / В. В. Кириченко, В. П. Петренкова, О. В. Кривошеєва, В. К. Рябчун, Т. Ю. Маркова — Харків: ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН — 2007. — 78 с.
4. Маркова Н. В. Дистанційний курс "Програмування врожаїв", лекція № 4 "Агробіологічні основи програмування врожаїв" [Електронний ресурс, 2014]. Режим доступу: http://www.slideshare.net/markovanataliya?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview.
5. Рослинництво з основами програмування врожаю / Жатов О. Г. [та ін]; за ред. О. Г. Жатова. — К.: Урожай, 1995. — 256 с.
6. Харченко В. О. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур / В. О. Харченко; за ред. В. О. Ушкаренка. — 2-ге вид., перероб. і доповнене. — Суми: Університетська книга, 2003. — 295 с.
7. Nguy-Robertson A. Estimating green LAI in four crops: Potential of determining optimal spectral bands for a universal algorithm / Nguy-Robertson A., Peng Y., Gitelson A., Arkebauer T., Pimstein A., Herrmann I., Karnieli A., Rundquist D., Bonfil D. // *Agricultural and Forest Meteorology*. — 2014. — № 192–193. — Р. 140–148.

2. 2. Теоретико-методичні основи та результати газометричних досліджень

Показники оцінки асиміляції та вивільнення вуглекислого газу екосистемою

Показники оцінки асиміляції вуглецю екосистемою в ході фотосинтезу та його вивільнення під час дихання включають чистий екосистемний обмін вуглецю (NEE), дихання екосистеми (ER), валову первинну продуктивність екосистеми (GEP, або GPP), авто-та гетеротрофне дихання. Поняття чистого екосистемного обміну (в деяких джерелах трактується як чиста продуктивність екосистеми, NEP) є фундаментальною характеристикою екосистем [7]. Вперше NEP було визначено у 1968 році [11] як різниця між кількістю органічного вуглецю, засвоєного в процесі фотосинтезу в екосистемі, та загальним рівнем дихання екосистеми як суми авто-та гетеротрофного дихання (рис. 2. 3).

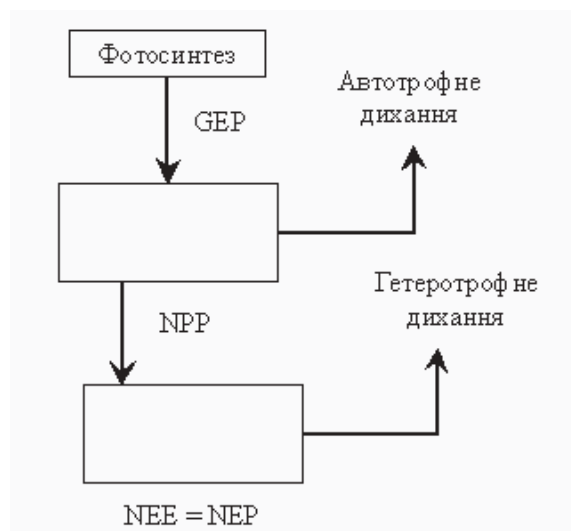


Рис. 2.3. Схема процесів асиміляції та вивільнення вуглецю екосистемою через фотосинтез та дихання [6], де GEP — валова первинна продуктивність екосистеми; NPP — чиста первинна продуктивність; NEE — чистий екосистемний обмін; NEP — чиста екосистемна продуктивність

Від’ємні значення NEP (тобто зменшення концентрації вуглекислого газу в повітрі екосистеми під час вимірювань) є індикатором продуктивності екосистеми — переважання процесів фотосинтезу над процесами дихання. Додатні значення цього показника означають вищий рівень вивільнення вуглецю під час дихання екосистеми, ніж поглинання вуглецю в процесі фотосинтезу. Інші джерела [10] доповнюють це визначення, пояснюючи NEP як темп, з яким вуглець акумулюється екосистемою в часовому вимірі:

$$NEP = \frac{dC}{dt} \quad (2.3)$$

Терміни NEE та NEP в іноземній літературі використовуються як взаємозамінні, але NEE частіше зустрічається у зв’язку з описами потоків, які вимірюються в часовому просторі в якості темпу зміни концентрації вуглекислого газу в атмосферному повітрі, тоді як NEP частіше застосовується при оцінці динаміки запасів вуглецю на більш глобальному рівні [6]. Кількісна оцінка показників продуктивності та дихання екосистеми дозволяє оцінити внесок окремих елементів системи у загальну картину кругообігу вуглецю.

Методика вимірювання потоків вуглекислого газу в екосистемі

На сьогоднішній день експериментальні дослідження потоків вуглекислого газу в екосистемі, в тому числі дихальних процесів, можуть відбуватися із використанням опосередкованих, дифузійних та камерних методів [1].

Опосередковані методи передбачають оцінку втрати органічного вуглецю з ґрунту та підстилки шляхом перерахунку у вуглекислий газ. Цей метод дозволяє проводити оцінку протягом тривалого періоду часу, але є не досить точним. До найпоширеніших дифузійних методів належать профільний та аеродинамічний методи [1]. Профільний метод полягає в оцінці інтенсивності ґрунтового дихання за градієнтом концентрації та коефіцієнтом дифузії вуглекислого газу у ґрунті. Натомість аеродинамічний метод базується на використанні інфрачервоних газоаналізаторів для визначення градієнта концентрації CO₂ в екосистемі та в тому числі у ґрунті.

Перевагою даного методу є збереження непошкодженості рослинного покриву, а також зручність для вимірювань у біогеоценозах із низькою турбулентністю повітря. Незважаючи на це, їх застосування має ряд недоліків. Наприклад, постає проблема необхідності визначення додаткових змінних для вуглекислого газу, а саме його коефіцієнтів турбулентного обміну в атмосфері та дифузії у ґрунті. Крім того, дифузійні методи складно використовувати взимку через сніговий покрив та промерзання ґрунту.

Враховуючи переваги та недоліки вищезазначених методів визначення дихальних процесів в екосистемі, вважаємо доцільним розглянути камерний метод як альтернативний до традиційних. Камерний, відомий також як абсорбційний, метод полягає у використанні газових камер у стаціонарному або пересувному режимах [1, 3]. Завдяки зручності дизайну та експлуатації застосування камерних методів наразі набуло широкого розповсюдження. Сьогодні для визначення концентрації CO₂ викори-

стовують стаціонарні газові хроматографи або портативні інфрачервоні газоаналізатори. Для отримання достовірних результатів експерименту, що є можливим у разі лінійного збільшення концентрації вуглекислого газу у камері, необхідно врахувати тривалість експозиції [1].

Звичайно, камерний метод теж має певні недоліки. Сьогодні є неможливим проведення прямих оцінок потоків карбону у деяких екосистемах, наприклад, лісових. Умови навколишнього природного середовища можуть ускладнювати і навіть унеможливити отримання достовірних результатів під час польових досліджень. Наприклад, за умов високого рівня інсоляції спостерігається збільшення температури повітря безпосередньо у газовій камері на 10–15°C у випадку тривалої експозиції, що спричиняє значні похибки у результатах вимірювань [1]. Сучасні технології, а саме використання інфрачервоних газоаналізаторів дозволяють зменшити тривалість вимірювань до 1–5 хв, що попереджає збільшення температури повітря всередині камери, а також можливість похибки через зміну градієнта вуглекислого газу у системі [3]. Відомо, що

може спостерігатися недооцінка низьких потоків вуглецю та переоцінка високих потоків. Для цього необхідно проводити калібрування системи [3]. Також для покращення умов вимірювань сучасні газові камери обладнані вентиляторами для вирівнювання тисків. Через вентилятори може втрачатися близько 3% вуглекислого газу, але це попереджає можливість більш негативного впливу на вимірювання через різницю тисків [3].

Надзвичайно складно використовувати камерний метод взимку через низькі температури та наявність снігового покриву. Внаслідок зниження інтенсивності дихальних процесів в екосистемі у зимовий період необхідно збільшувати тривалість експозиції, що, в свою чергу, призводить до можливості похибки. Низькі температури спричиняють до погіршення роботи газоаналізаторів, що практично унеможливає використання камерного методу взимку [1, 3]. Крім того, порушення снігового покриву спричинює миттєвий викид вуглекислого газу, який, в свою чергу, далі сорбується сніговим покривом. Це призводить до заниження результатів зміни виділення CO₂ із ґрунту [1].

2. 2. 1. Експериментальне визначення валової первинної продуктивності сільськогосподарських культур Лісостепової зони України

Збір польових даних та виміри проведені фахівцями НАУКМА та ЦАКДЗ ІГН НАН України на дослідних полях Київської області Баришівського району (6 червня 2014 р. з 12:00 до 16:00, 24 червня 2014 р. з 10:30 до 15:00 та 1 липня 2014 р. з 11:00 до 13:00) та Фастівського району (20 червня 2014 р. з 12:00 до 14:00) в ясну погоду. Вимірювання виконано для таких сільськогосподарських культур: озима пшениця остиста (поле без підсіву, сорт “Сонечко”), озима пшениця безоста Скаген № 2 “Сотниківка” (поле з підсівом), соняшник, кукурудза, соя та буряк.

Обладнання та матеріали

Показники чистого екосистемного обміну вуглецю та дихання екосистеми вимірювались камеро-статистичним газометричним методом за допомогою замкненої системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу у повітрі (CO650 Plant CO₂ Analysis Package, виробник Qubit Systems, Канада). Ця система передбачає пропускання повітря з визначеною швидкістю через респіраційну камеру, яка встановлюється на рамку, вкопану на 4 см у ґрунт дослідної ділянки. Швидкість проходження повітря регулюється повітряною помпою та ротаметром (рис. 2. 4) і становить 650 мл/хв.

Концентрація вуглекислого газу вимірюється інфрачервоним газоаналізатором з використанням недисперсійної технології інфрачервоного випромінювання. Одночасно відбувається вимірювання

температури та вологості повітря в системі за допомогою спеціального сенсору. Отримані дані в режимі реального часу через дата-логер (Logger Pro 3) потрапляють на обробку в базу даних, що створюється програмним забезпеченням LabPro Interface.

Камеру для дослідження екосистемних потоків вуглецю було сконструйовано з пластику ACRYMA® 72 3 мм за описами аналогічних експериментів у США та Китаї (Niu et al., 2008, 2010). Вона являє собою прозору кубічної форми конструкцію розмірами 0.5 × 0.5 × 0.5 м, з внутрішнього боку якої закріплено маленький вентилятор для перемішування повітря в камері під час вимірювань. Камера герметично приєднується до системи пластиковими трубками; для попередження проникнення повітря у замкнену систему під час вимірювань вона встановлюється на спеціальну сталеву платформу, розмір якої 0.53 × 0.53 × 0.53 м. При встановленні камери на платформу в середину камери потрапляють рослини, які знаходяться в межах платформи. Прозорість камери забезпечує можливість проходження і вимірювання процесу фотосинтезу в цих рослинах. Після вимірювання камера перегортається на бік для провітрювання, знов встановлюється на платформу і накривається тканиною, що не пропускає сонячне світло. У такий спосіб припиняється асиміляція вуглецю і ми маємо змогу виміряти дихання екосистеми. Підвищення температури повітря під час вимірювань є меншим за 0,5°C і не впливає суттєво на зміну концентрації вуг

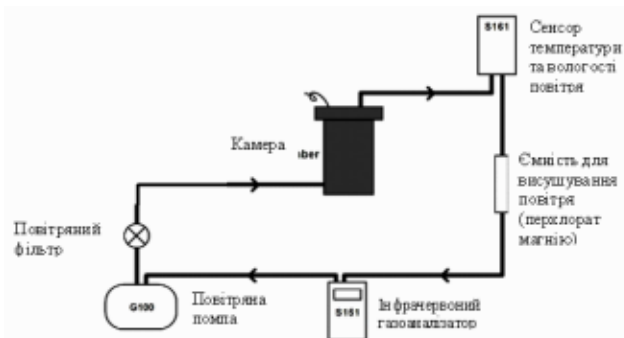


Рис. 2.4. Схема системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу у повітрі (виробник Qubit Systems, Канада)

лекісного газу в камері. Використання подібної камери для вимірювання чистого екосистемного обміну та екосистемного дихання широко застосовувалось в багатьох попередніх дослідженнях [2, 5, 9, 12]. Тривалість одного вимірювання потоків вуглекислого газу складала 3 хв.; запис концентрації вуглекислого газу у повітрі проводився з частотою 1 проба на 1 с.

Освітленість вимірювалась за допомогою люксметра Ю-116 протягом всього періоду вимірювань. Вологість ґрунту по кожній культурі визначалась на глибинах 5, 10, 20, 30 та 60 см за допомогою аналогового вологоміра (виробник Spectrum Technology Ltd., США). Температура ґрунту вимірювалась на глибині 7 см аналоговим термометром.

Обчислення вимірювальних показників

Показник валової продуктивності екосистеми (GEP) відображався як різниця між чистим екосистемним обміном (NEE) та диханням екосистеми (ER) [12]. Перерахунок зміни концентрації вуглекислого газу у повітрі з урахуванням температури повітря, площі поверхні ґрунту та об'єму камери розраховувався за формулою [2, 4]:

$$F_c = \frac{VP_{av}}{RS(T_{av} + 273)} \times \frac{dC}{dt} \quad (2.4)$$

де F_c — це концентрація вуглекислого газу на одиницю площі на одиницю часу, ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); V — об'єм повітря в системі, включаючи камеру (m^3); P_{av} — атмосферний тиск на момент вимірювань (kPa); R — константа ідеального газу ($8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$); S — площа поверхні ґрунту накритого камерою (m^2); T_{av} — середня температура повітря на період вимірювань ($^{\circ}\text{C}$); dC/dt — кут нахилу лінійної апроксимації до графіку концентрацій CO_2 за певний проміжок часу.

Проміжні результати досліджень

Валова первинна продуктивність (GEP) досліджуваних культур в цілому коливалась від 3,8 до 31,8 $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ (рис. 2.5 та 2.6). Таку високу розбіжність у значеннях продуктивності можна

пояснити, з одного боку, різними фазами розвитку сільськогосподарських рослин, що спостерігались у період з початку червня до початку липня, а з іншого — різною кількістю зеленої маси рослин під час вимірювань, яка коливалась від 586 до 5676 г/м^2 .

Найбільші значення продуктивності пшениці, сої та соняшнику спостерігались у 20-х числах червня (рис. 2.5) через більшу кількість фотосинтезуючої зеленої маси на даному етапі розвитку рослин. Цією ж причиною можна пояснити більшу продуктивність безості пшениці у порівнянні з пшеницею сорту "Сонечко" станом на 1 липня 2014 р. Протилежну картину можна спостерігати 6 червня, коли пшениця "Сонечко" мала більшу продуктивність у порівнянні з безостою пшеницею (рис. 2.5).

Співвідношення GEP по кукурудзі, соняшнику та сої за 6 червня 2014 р. у Баришівському районі такі самі, як значення GEP по цих культурах 20 червня у Фастівському районі: найбільш продуктивною виявилась кукурудза, потім іде соняшник, потім соя.

Проведені дослідження показали перспективність напряму з експериментального визначення валової продуктивності та дихання основних агрокультур України. Для отримання комплексних статистично достовірних результатів з даного напрямку вважаємо за необхідне:

- провести польові вимірювання наведених вище параметрів для основних агрокультур протягом всього вегетаційного періоду їх розвитку (орієнтовно з квітня по листопад);
- збільшити повторюваність до 4–5 та частоту вимірів до 2 разів на місяць з метою отримання статистично значущої вибірки результатів дослідження;
- вивчити вплив фізико-кліматичних факторів (такі як температура й вологість повітря та ґрунту, середньодобова кількість вологи і частота зволоження культур, освітленість, атмосферний тиск) на динаміку показників дихання та валової продуктивності шляхом проведення кореляційного і регресійного аналізу, а також аналізу головних компонент.

Список літератури до розділу 2.2.

1. Методы исследований органического вещества почв. — М.: Россельхозакадемия — ГНУВНИИПТИОУ, 2005. — 521 с.
2. Халаїм О. О. Особливості добової динаміки екосистемних потоків вуглецю степових угруповань південно-східного Криму / О. О. Халаїм, І. Г. Вишенська // Наук. зап. НаУКМА. — К.: Видавничий дім "КМ Академія", 2012. — Т. 132. Біологія та екологія. — С. 48–54.
3. Davidson, E. A. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration / E. A. Davidson,

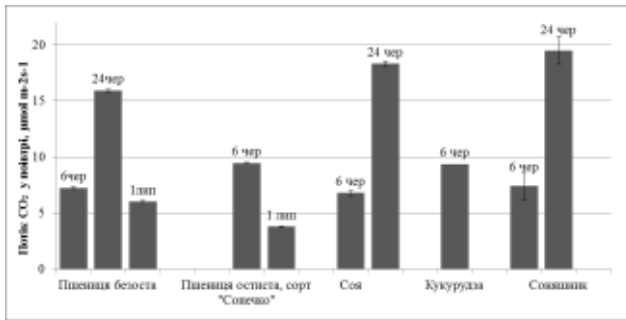


Рис. 2.5. Валова первинна продуктивність сільськогосподарських культур дослідних полів Баришівського району Київської області (червень–липень 2014 р.), $\mu\text{моль м}^{-2} \text{с}^{-1}$

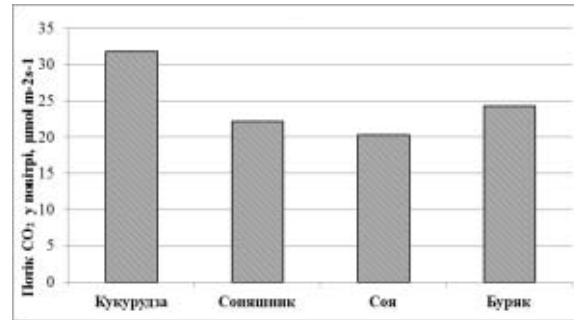


Рис. 2.6. Валова первинна продуктивність сільськогосподарських культур дослідних полів Фастівського району Київської області (20 липня 2014 р.), $\mu\text{моль м}^{-2} \text{с}^{-1}$

- K. Savage, L. V. Verchot, R. Navarro // Agricultural and Forest Meteorology. — 2002. — №113. — P. 21–37.
4. Jasoni R. L. Net ecosystem CO_2 exchange in Mojave Desert shrublands during the eighth year of exposure to elevated CO_2 / Richard L. Jasoni, Stanley D. Smith, John A. Arnone // Global Change Biology. — 2005. — Vol. 11. — P. 749–756.
5. Khalaim O., Vyshenska I. Dynamics of gross productivity and respiration of grasslands in south-eastern Crimea under altered precipitation // Вісн. Харків. нац. ун-ту імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія, 2014. Спецвипуск.
6. Kirschbaum M. U. F. Definitions Of Some Ecological Terms Commonly Used In Carbon Accounting / M. U. F. Kirschbaum, D. Eamus, R. M. Gifford, S. H. Roxburgh and P. J. Sands // Net Ecosystem Exchange. Workshop Proceedings CRC for greenhouse accounting. — 2001. — P. 2–5.
7. Lovett G. M. Is Net Ecosystem Production Equal to Ecosystem Carbon Accumulation? / Gary M. Lovett, Jonathan J. Cole, and Michael L. Pace // Ecosystems. — 2006. — Vol. 9. — P. 152–155.
8. Niu S. Nitrogen effects on net ecosystem carbon exchange in a temperate steppe / Shuli Niu, Mingyu Wu, Yi Han, Shiqiang Wan et al. // Global Change Biology. — 2010. — Vol. 16. — P. 144–155.
9. Niu S. Water-mediated responses of ecosystem carbon fluxes to climatic change in a temperate steppe / Shuli Niu, Mingyu Wu, Yi Han et al. // New Phytologist. — 2008. — Vol. 177. — P. 209–219.
10. Randerson J. T. Net ecosystem production: a comprehensive measure of net carbon accumulation by ecosystems / J. T. Randerson, F. S. Chapin, J. W. Harden et al. // Ecological Applications. — 2002. — Vol. 12 (4). — P. 937–947.
11. Woodwell G. M. Primary production in terrestrial ecosystems / G. M. Woodwell, R. H. Whittaker // Am Zoologist. — 1968. — Vol. 8. — P. 19–30.
12. Xia J. Response of ecosystem carbon exchange to warming and nitrogen addition during two hydrologically contrasting growing seasons in a temperate steppe / J. Xia, S. Niu, S. Wan // Global Change Biology. — 2009. — Vol. 15. — P. 1544–1556.

2. 3. Полеві спектрометричні дослідження абсорбції CO₂ агрокультурами на тестовому полігоні “Березань” (Київська область) та визначення корелятивних зв’язків спектрометричних даних з результатами аналогічних газометричних визначень

Нами використано метод оцінки фотосинтетичного компонента потоків CO₂ при комбінації результатів зйомки спектрорадіометром FieldSpec® 3 FR (www.asdi.com) та даних по потоках, отриманих науковцем О. О. Халаїм (НАУКМА) при наземних газометричних вимірах (див. розд. 2. 2 цієї роботи). Ми залучили підхід, пов’язаний з напівемпіричним статистичним моделюванням при визначенні кореляційної залежності гіперспектральних поверхневих характеристик потоків CO₂, отриманих дистанційно [6], та шляхом газометричних вимірів для різних сільськогосподарських культур. На основі кореляційної залежності одержані дані потоків CO₂, які відображають інтенсивність фотосинтезу для озимої пшениці, сої, кукурудзи, соняшника.

Модельний підхід

Існує кілька модельних підходів, що використовуються для одержання оцінок потоків CO₂ в екосистемі та її біологічної продуктивності [6]: 1) це статистичні моделі, які кореляційно пов’язують потоки з різними кліматичними змінними; 2) це параметричні моделі, що ґрунтуються концепції коефіцієнта ефективності використання світла (LUE—light-use efficiency), яка дозволяє розкласти потоки на різні компоненти; 3) це моделі процесів, в яких враховані основні процеси фотосинтезу і дихання рослин. Статистичні та параметричні моделі є напівемпіричними за своєю природою і, як правило, свої для кожного біома. Моделі процесів виявилися найбільш складними; крім того, деякі з них вимагають великої кількості параметрів з глобальних екосистем, які, як правило, недоступні.

Дистанційне зондування дозволяє забезпечити даними такий метод, за допомогою якого досліджують і отримують просторові схеми поведінки потоків CO₂. Численні дослідження показали, що оптично одержаний NDVI можна використовувати для отримання оцінок потоків CO₂ від рослинності. NDVI пов’язано з часткою фотосинтетично активного випромінювання (PAR – photosynthetically active radiation), що поглинається зеленою рослинністю (або fAPAR). Дослідники [4] використовували моделі радіаційного переносу в покриві, щоб показати, що як NDVI, так і fAPAR, чутливі до величини поверхні листя в зеленому рослинному покриві. Вчені [6] порівняли біофізичні властивості покривів рослин і виявили, що NDVI і fAPAR функціонально пов’язані. Існує також обґрунтований емпіричний доказ, що між цими двома оптичними властивостями покривів рослин є взаємозв’язок. Спроби моделювання та ем-

піричні дослідження дозволили встановити, що зв’язок між NDVI та f_{APAR} також нечутливий до змін зенітного кута сонячного освітлення.

Дослідники [2] показали, що помноживши f_{APAR} можна на коефіцієнт ефективності, можна отримати чисту первинну продуктивність (NPP — *net primary productivity*), або чисте фотосинтетичне прирощення вуглецю для ділянки рослинності:

$$NPP = (\epsilon \cdot \Sigma f_{APAR}), \quad (2.5)$$

де NPP — оцінюють як наземну біомасу (кг), накопичену за сезон зростання; Σf_{APAR} — річний інтеграл фотосинтетично активного випромінювання (PAR) (в $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}-1$), поглинений рослинністю; ϵ — визначають як ефективність, з якою поглинене PAR — випромінювання перетворюється на біомасу. Відомо, що NDVI можна виразити у вигляді функції, а зв’язок між цими двома членами не залежить від зенітного кута сонця. Тоді рівняння (2.5) можна переписати в термінах функції:

$$NPP = f(\epsilon \cdot \text{NDVI}). \quad (2.6)$$

Зазвичай, ϵ не отримують безпосередньо з даних дистанційного зондування. Згідно [3], ϵ — відносно постійне значення серед рослин одного і того ж метаболічного типу, яке може змінюватися в залежності від фенологічної стадії, кліматичних умов і водного стресу. Однак деякі сучасні дослідження показали, що оптично обґрунтований індекс, який отримується з гіперспектрального (вузькосмугового) коефіцієнта віддзеркалення і названий фотосинтетичним індексом відбиття (PRI), розглядався як багатообіцяюча міра ефективності використання світла рослинністю (LUE). Цей зв’язок виникає, оскільки вказаний індекс фіксує відгук пігментів ксантофілового циклу на мінливі світлові умови.

За умови надлишку світла, коли PAR перевищує ємність фотосинтетичних реакцій, певні каротиноїди листя, відомі як пігменти ксантофілового циклу, слугують центрами розсіювання надлишку світла за допомогою виробництва тепла, у такий спосіб захищаючи фотосинтетичний апарат. Це здійснюється через активацію ензиму діпоксідази, який присутній в хлоропластах листя. Діпоксідаза переходить в віолаксантин, а ксантофіл, який передає енергію світла на фотосинтетичний апарат в зеаксантин; ксантофіл також направляє світлову енергію з фотосинтетичного апарату і розсіюється у вигляді тепла. Ця реакція перетворюється на свою протилежність при поганих світлових умовах, тобто

зеаксантин переходить назад в віолаксантин через активацію ензиму епоксидазу в хлоропластах листя.

Оптичну реакцію пігментів ксантофілового циклу можна виявити за допомогою зміни коефіцієнта відбиття на довжині хвилі 531 нм. Так як ці пігменти відповідають за регуляцію енергії поглиненого світла в межах листка рослини, характеристики їх коефіцієнтів відбиття дають корисний оптичний індикатор мінливості фотосинтетичної активності. На цій підставі в роботі [1] введено індекс PRI для коефіцієнта відбиття рослинності у вузькому каналі на довжині хвилі 531 нм. Початкова довжина хвилі коефіцієнта відбиття становила 550 нм. Довжина хвилі 570 нм була прийнята в якості опорного (фоновому) значення.

Досліджувався також зв'язок між коефіцієнтом відбиття на 531 нм та ефективністю використання світла при фотосинтезі LUE для листа. Було показано, що індекси PRI і LUE можна широко застосовувати для різних видів рослинності, різних їх функціональних типів і рівнів живлення. На основі цих результатів була висунута гіпотеза про те, що параметр LUE для рослинності можна виразити в термінах PRI. Потім рівняння (2.6) можна переписати, впроваджуючи PRI, у вигляді коефіцієнта ефективності для короточасної оцінки швидкості фотосинтезу в екосистемі (або для поглинання CO₂):

$$\text{Поглинання CO}_2 = f(\text{PRI} \cdot \text{NDVI}). \quad (2.7)$$

Регресійна модель

За допомогою фотосинтетичного потоку CO₂ від тестових ділянок на підставі отриманих у різні дні і значень NDVI та sPRI можна протестувати альтернативний підхід, який аналізувався. Виходячи з рівняння (2.7) була використана лінійна регресійна модель, щоб пов'язати значення сумарного фотосинтетичного потоку CO₂ з гіперспектральними індексами [5]:

$$\text{Сумарне поглинання CO}_2 = a + b \cdot (\text{sPRI} \cdot \text{NDVI}) \quad (2.8)$$

Співробітниками ЦАКДЗ та НАУКМА влітку 2014 р. були проведені експериментальні дослідження на типовому для Лісостепової зони України полігоні “Березань”, де розташовані угіддя ТОВ “Баришівська зернова компанія” з типовими агрокультурами. Були отримані коефіцієнти a і b шляхом розрахунку лінійної регресії між сумарним дихальним потоком CO₂ і добутком (sPRI · NDVI). Зіставлені газо-та спектрометричні виміри виконані в полуденний час 6 червня та 1 липня 2014 р. (9 вимірів по 4 основним агрокультурах — озимій пшениці Скаген № 2 “Сотниківка” та “Сонечко”, сої ПБС 0,8, кукурудзі P9578, PR37N01 PR37Y12, соняшнику “Перформер” (табл. 2.9).

Для регресійного аналізу ми використовували відкоригований R² (коефіцієнт детермінації), оскільки він враховує кількість незалежних змінних, що входять в рівняння регресії.

Іншою мірою кореляції між залежними і незалежними змінними, використовуваними в цьому дослідженні, був критерій Фішера — значення ймовірності “р значення”. При використанні регресійного аналізу високе значення R² і відносно низьке значення “р” може свідчити про зростання ступеня достовірності, а це значить, що залежність є статистично значущою.

Індекс NDVI виявив залежність від сумарного потоку CO₂ при R² = 0,6057 (рис. 2.7а), а індекс PRI показав відповідну залежність при R² = 0,627 (рис. 2.7 б). Кореляція NDVI з PRI досить значна R² = 0,9283 (рис. 2.7 в).

Ми порівняли значення (sPRI · NDVI) зі значеннями чистого потоку CO₂ (тобто чисті потоки вимірюються без поправки на дихання), щоб побачити, чи будуть вони корелювати. Результуюча величина R² = 0,5974 (рис. 2.8 а), тобто кореляція виявилася середньою.

Порівняння сумарного потоку CO₂ з добутком (sPRI · NDVI) показало більш значущу кореляцію з R² = 0,6148 (рис. 2.8 б). Лінійна залежність, отримана за допомогою рівняння (2.8) з сумарним потоком CO₂, привела в результаті до складання рівняння (2.9), за яким можна попередньо обчислювати абсорбцію CO₂ агрокультурами Лісостепової зони України:

$$\text{CO}_2 = -4.093 - 26.631 \cdot (\text{sPRI} \cdot \text{NDVI}) \quad (2.9)$$

При цьому слід взяти до уваги, що кількість залучених вимірюваних даних у період польових експериментальних робіт була недостатньо репрезентативною і не охоплювала основні стадії вегетаційного розвитку досліджуваних агрокультур. Тому подібні дослідження будуть продовжені в наступному році, що дасть можливість уточнити одержане рівняння (2.9) для розрахунку абсорбції CO₂ як основними агрокультурами, так й іншими рослинними покривами в різних ландшафтно-кліматичних зонах України.

Висновки

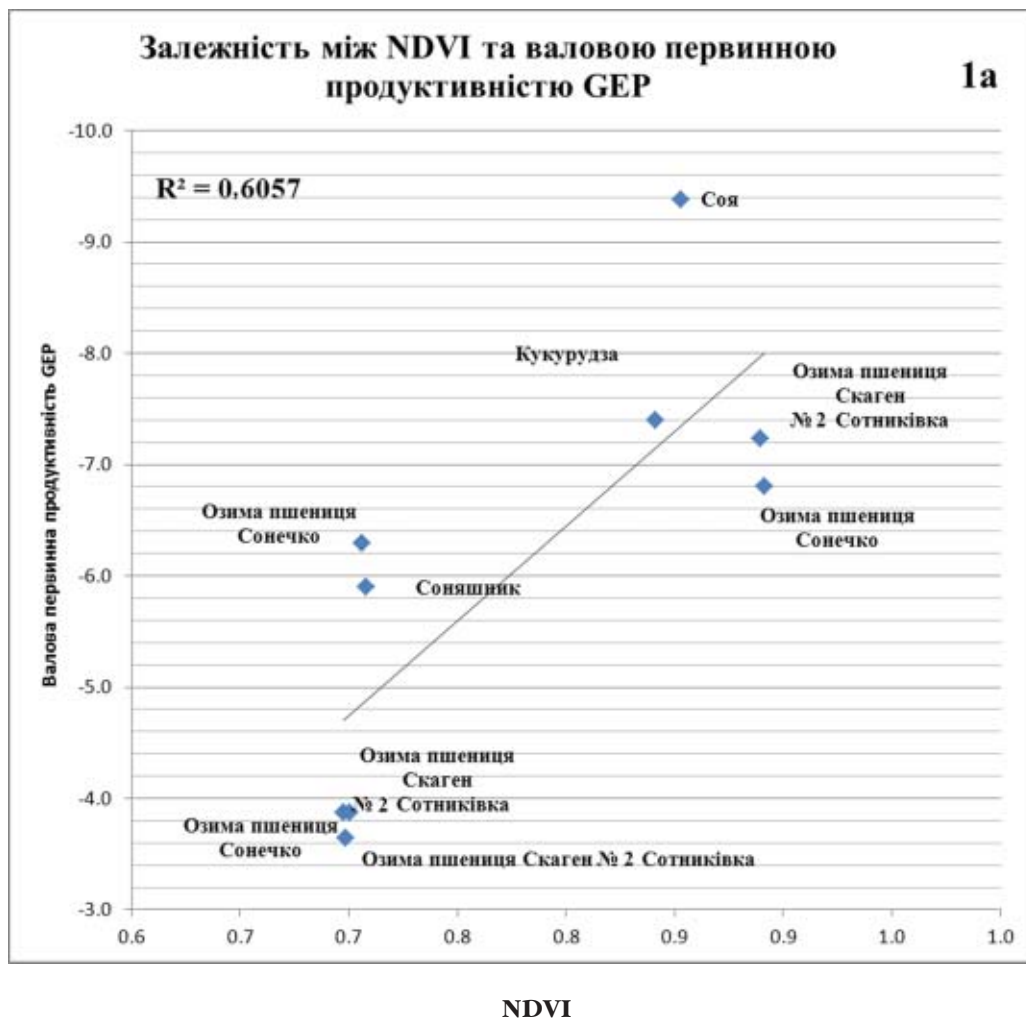
Попередні польові заміри потоків CO₂ в межах визначених ділянок агроценозів показали значну варіацію в отриманих даних (від 4 до 30 μmol CO₂/m²/s–1) (О. О. Халаїм) в різні періоди. Це може бути пов'язано зі зміною температурного режиму, режиму освітлення і зволоження в цей час, а також різними етапами вегетації сільгоспкультур. Разом з тим попередні оцінки потоків CO₂ на основі мультиспектральних знімків MODIS свідчать про меншу варіабельність. Для прикладу, на знімку MODIS від 3 чер-

Таблиця 2. 9

Характеристика природних умов та газо-спектрометричних особливостей агрокультур полігону “Березань” на час проведення досліджень

Дата	6 червня 2014					1 липня 2014			
Агрокультура	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NEE	-3.8	-5.1	-6.3	-2.9	-3.1	-3.2	-0.7	-0.6	-0.7
ER	3.4	1.7	3.1	4.5	2.8	3.1	2.9	3.3	3.2
GER	-7.2	-6.8	-9.4	-7.4	-5.9	-6.3	-3.6	-3.9	-3.9
Валова первинна продуктивність $\mu\text{мольм}^{-2}\text{с}^{-1}$									
NDVI (800-660)/(800+660)	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
PRI (531-570)/(531+570)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.1	-0.1
sPRI (PRI+1)/2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
NDVI _T sPRI	0.44	0.46	0.43	0.43	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33
Освітленість (Lux)	731.0	696.0	757.0	730.0	633.0	800.0	793.0	857.0	865.0
T ґрунту на глибині 7 см. °C	20.0	21.8	27.3	33.8	25.5	20.7	21.2	20.2	20.1
T повітря. °C	37.5	37.1	34.5	38.0	33.8	33.6	34.8	34.5	35.3
Відносна вологість. %	41.3	42.0	48.8	40.2	45.0	43.6	43.7	45.0	42.4

* 1 — озима пшениця Скаген № 2 “Сотниківка”; 2 — озима пшениця “Сонечко”; 3 — соя; 4 — кукурудза; 5 — соняшник; 6 — озима пшениця “Сонечко”; 7 — озима пшениця “Сонечко”; 8 — озима пшениця Скаген № 2 “Сотниківка”; 9 — озима пшениця Скаген № 2 “Сотниківка”

**Рис. 2. 7. 1 а.** Кореляційні залежності між NDVI та валовою первинною продуктивністю GER

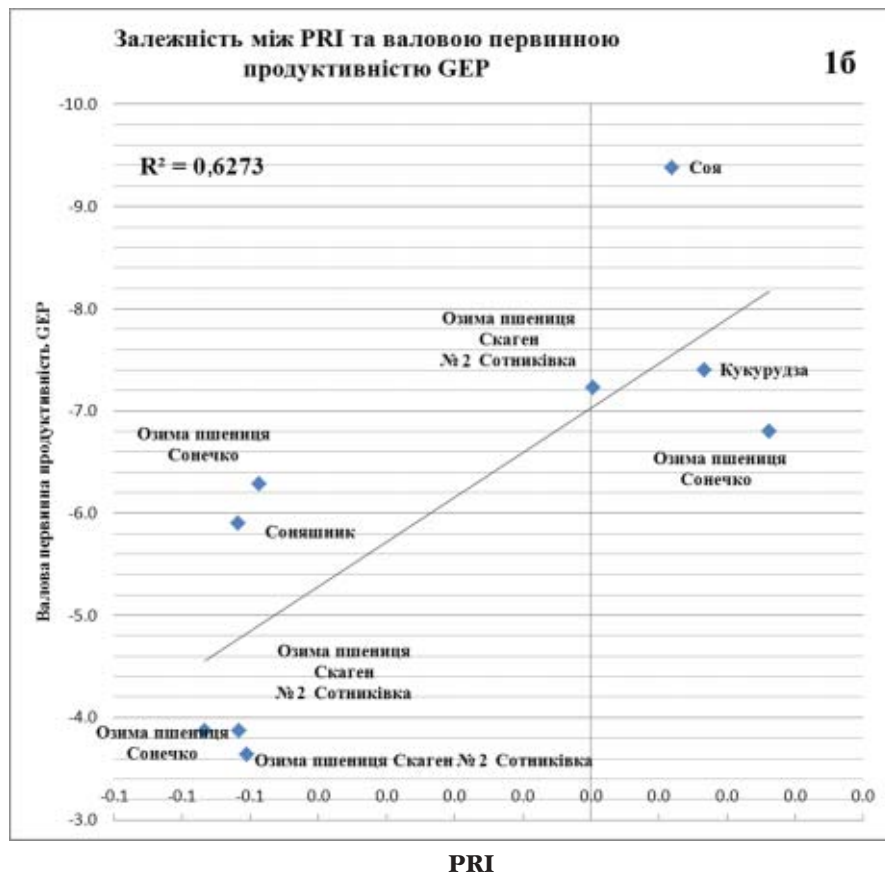


Рис. 2. 7. 16. Залежність між PRI та валовою первинною продуктивністю GEP

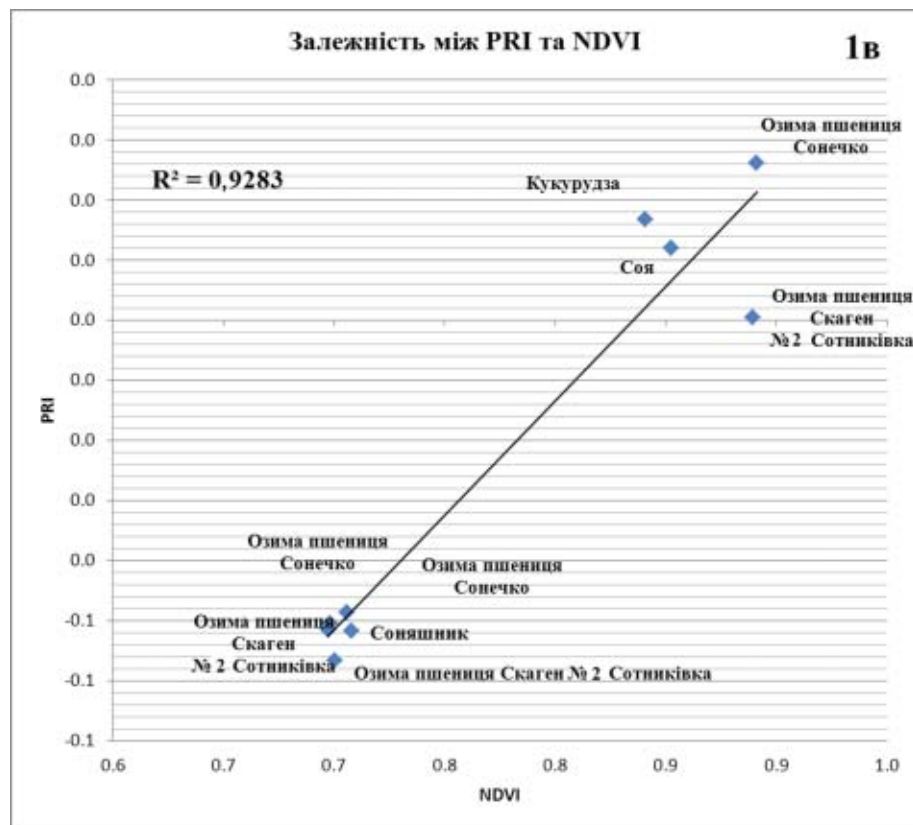
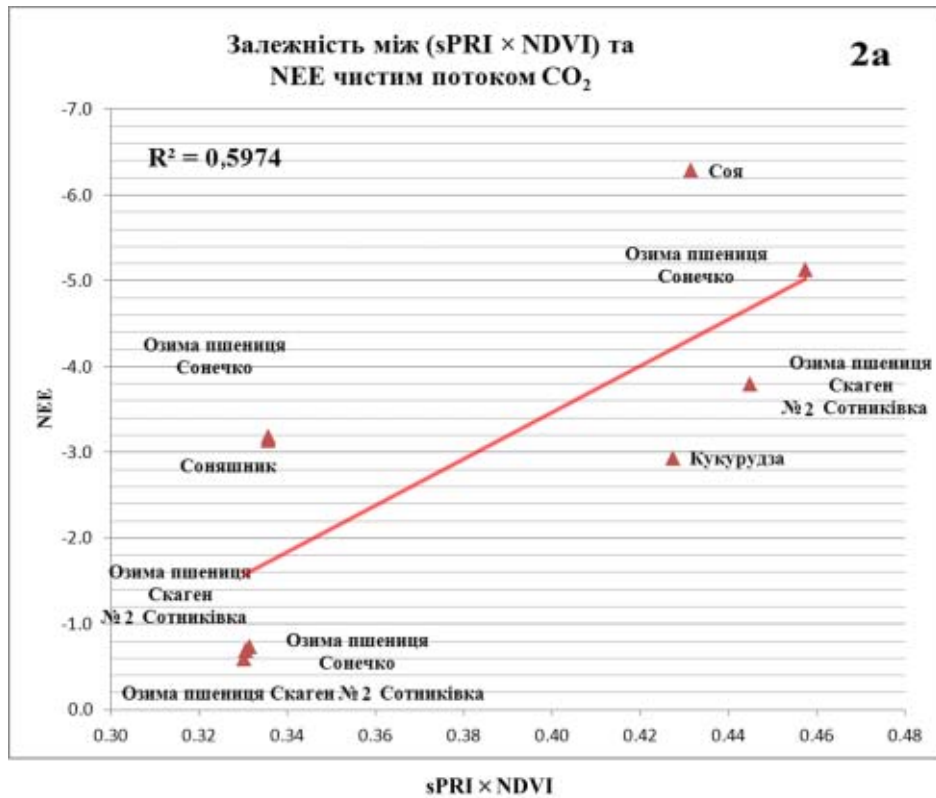
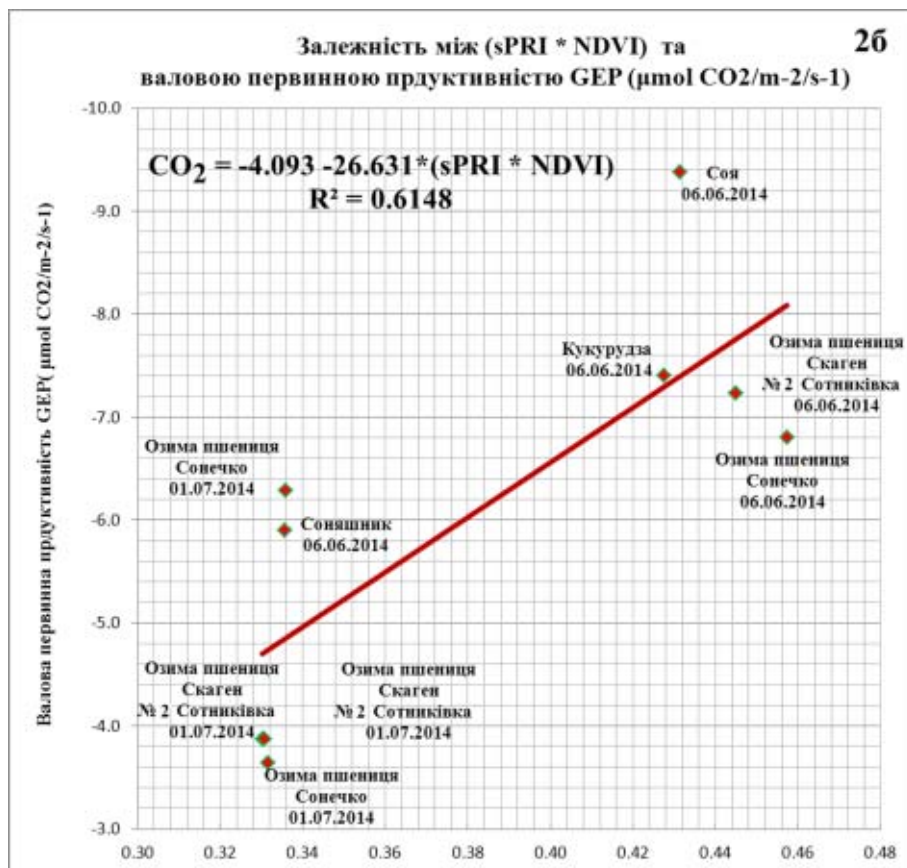


Рис. 2. 7. 1 в. Залежність між PRI та NDV

Рис. 2.8. 2а. Залежність між (sPRI · NDVI) та NEE чистим потоком CO₂Рис. 2. 8. 6. Залежність між (sPRI · NDVI) та валовою первинною продуктивністю GEP (μmol CO₂/m-2/s-1)

вня 2000 р. потоки CO_2 над агроценозами оцінювалися в межах $6\text{--}8 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (Earth systems change over Eastern Europe, 2012).

На підставі наших досліджень можна стверджувати:

1. Оцінки проводилися за регресійними рівняннями, отриманими для лісових екосистем.

2. Роздільна здатність спектрометра MODIS не завжди дозволяє виділити чисті пікселі, що відповідають агроценозам, і, як правило, в один піксель потрапляє декілька класів рослинності.

3. Запропоновано регресійне рівняння для деяких конкретних агроценозів Лісостепової зони України, але вибірка одержана недостатньо репрезентативна. Тому потрібно продовжувати збирати і накопичувати польові дані потоків CO_2 з паралельною наземною спектрометрією з метою покращення оцінки регресійної залежності інтенсивності поглинання CO_2 рослинним покривом з його спектральними характеристиками. Це дозволить побудувати більш точну регресійну залежність і виконати достатньо надійну оцінку потоків CO_2 на основі дистанційних методів для визначених класів рослинності.

4. Для покращення результатів польових вимірів необхідно проводити виміри якомога частіше, для більш точної оцінки сезонної динаміки. При цьому виміри для озимих культур можна починати восени при появі перших сходів.

5. Бажано також сконструювати більший резервуар для газоаналізатора, оскільки використання

куба малого об'єму для замірів над високими культурами в пізніх стадіях вегетації може призвести до значних похибок у вимірюваннях і не зовсім коректних результатів.

Список літератури до розділу 2. 3

1. Gamon, J. A., Penuelas J., and Field C.B. A narrow waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency / *Remote Sens. Environ.*, pp. 4, 35–44, 1992.
2. Kumar, M., and Monteith J. L. Remote sensing of crop growth, in *Plants and the Daylight Spectrum*, ed. H. Smith. P. 133–144. — Academic, San Diego, Calif., 1981.
3. Rahman, F., John A. Gamon, David A. Fuentes, Dar A. Roberts, and Dylan Prentiss Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery / *Abdullah Journal of Geophysical Research*. — Vol. 106, no. d24. — P. 33,579–33,591. December 27, 2001.
4. Monteith, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain, *Philos / Monteith, J. L. // Trans. R. Soc. London*. P. 281, 277–294. — 1977.
5. Myneni, R. B., and Williams D. L., On the relationship between FA-PAR and NDVI / *Myneni, R. B., and Williams D. L. // Remote Sens. Environ.*, pp. 49, 200–211, 1994.
6. Tucker, C. J., and Sellers P. J., Satellite remote sensing of primary production / *Tucker, C. J., and Sellers P. J. // Int. J. Remote Sens.*, 7, pp. 1395–1416, 1986.
7. Режим доступу: www.asdi.com.

2. 4. Валова первинна продуктивність та чиста первинна продуктивність рослинного покриву основних сільськогосподарських культур Дніпропетровської, Миколаївської та Черкаської областей України за даними продуктів MODIS

Як відомо, більшу частину території України займають агроценози. За даними Держкомзему України станом на 2001 р. сільськогосподарські угіддя становили 69,3% загальної площі земельного фонду України [3, 5]. Серед сільськогосподарських угідь частка орних земель сягає в середньому 55%, а в окремих областях — понад 80%. Найбільші площі земель сільськогосподарського призначення в Одеській, Дніпропетровській та Харківській областях; найменші — в Чернівецькій, Закарпатській та Івано-Франківській. Найбільше орних земель у Дніпропетровській, найменше в Закарпатській областях [3, 5].

У той же час при оцінках депонування вуглецю внесок різних сільськогосподарських культур в масштабах адміністративних областей і всієї України фактично не досліджено. Зауважимо, що посіви навіть окремих основних сільгоспкультур в Україні (озимі зернові, кукурудза, соняшник), за нашими оцінками займають площі, які в сумі не поступаються лісовим територіям, а в деяких областях значно перевищують їх. Нехтувати внеском рослинного покриву агроценозів, а також пасовищ та заболочених луків у балансові складові CO_2 без детальних оцінок, на нашу думку, не можна, бо це значно погіршує уявлення про складові стоку вуглецю для території України.

З метою уточнення цього питання та подолання певної невизначеності нами розпочато дослідження динаміки та загальної суми поглинання CO_2 в межах різних класів рослинного покриву, зокрема, посівів основних сільськогосподарських культур у різних областях України. Такі дослідження виконано для вегетаційного циклу осінь 2012–осінь 2013 рр. за даними продуктів MODIS (MOD17 A2/A3). Саме для зазначеного вегетаційного періоду нами вперше за даними MODIS було проведено класифікацію рослинного покриву всієї території України з виділенням основних сільськогосподарських культур. Це дало змогу також вперше для території України провести досить детальну оцінку внеску у валову первинну продуктивність (GPP від англ.: *Gross Primary productivity*) та чисту первинну продуктивність (NPP від англ.: *Net Primary productivity*) трьох основних сільськогосподарських культур (озимі зернові, кукурудза, соняшник) для областей України (Київська, Черкаська, Дніпропетровська, Миколаївська), що розташовані в різних ландшафтно-кліматичних зонах.

Зазначимо, що GPP та NPP визначаються з рівняння балансу потоків вуглекислого газу в системі

“грунт–рослина–атмосфера”, яке може бути представлено у такому вигляді [4]:

$$F_a = R_k + R_l + R_m - P_g \quad (2.10)$$

де F_a — потік CO_2 над рослинним угрупованням; R_k — дихання коренів; R_l — дихання стебел і листків; R_m — виділення CO_2 внаслідок життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів; P_g — загальна (брутто) первинна продуктивність, що позначається для екосистем також як GPP.

GPP — це фактично загальна кількість органічної речовини, утвореної в процесі життєдіяльності організмами-продуцентами, переважно хлорофіловмісними рослинами-фотосинтетиками на певній одиниці площі за певний проміжок часу. Цей показник тотожний як кількості променевої енергії Сонця, яку перетворено в енергію хімічних зв'язків новоутворених органічних речовин, так і кількості засвоєного в процесі фотосинтезу вуглекислого газу. Оскільки в живих організмах дихання є неодмінною умовою отримання енергії, то частина утвореної органічної речовини витрачається на підтримання існування самих рослин. Тому розрізняють ще й так звану первинну нетто-продуктивність (NPP), яка може бути розрахована із загальної продуктивності з урахуванням витрат органічної речовини на дихання коренів і наземних органів рослини (RA). Співвідношення між NPP, GPP і RA може бути виражене рівнянням:

$$NPP = GPP - R_A \quad (2.11)$$

На рівні біоценозу нетто-потік вуглецю між атмосферою й екосистемами визначається балансом між поглинанням вуглекислого газу під час фотосинтезу (тобто загальною первинною продуктивністю рослинного угруповання GPP) і загальним диханням (R) як автотрофних (RA), так і гетеротрофних організмів (RH).

NPP фактично відповідає приросту органічної речовини в рослинах на певній території за одиницю часу. Цей показник значно частіше використовується для порівняння продуктивності окремих видів рослин, екосистем і біомів, ніж загальна (брутто) первинна продуктивність. Визначення глобальних і локальних значень NPP необхідне також при вивченні складових вуглецевого циклу, оскільки NPP є одним з показників швидкості обміну вуглекислого газу між біотою та атмосферою.

Найпростіше чисту продуктивність можна визначити, зібравши, висушивши та зваживши рослинну

масу, що утворилась за період від посіву насінини до збирання врожаю. На практиці часто застосовують інші методи: від вимірювання кількості поглинутого вуглекислого газу за одиницю часу до застосування радіоактивних індикаторів чи визначення кількості хлорофілу на одиницю листяної площі [2].

Як зазначає К. І. Кобак [4], застосування аеродинамічного методу до дослідження вуглецевого балансу в екосистемах дає можливість визначити не тільки загальну і нетто-асиміляцію CO_2 , а й вивчити інші складові балансу вуглецю. Отримані аеродинамічним методом значення нетто-асиміляції були зіставлені автором з результатами визначень приросту рослинної біомаси. Було встановлено, що відповідність розрахованих за потоками CO_2 значень і експериментальних даних про продуктивність досить задовільна.

Зокрема, в цих дослідках вивчення добової динаміки ґрунтового потоку дозволило встановити його характерний мінімум в денні години і збільшення у вечірні з максимумом в 21–23 год. (рис. 2. 9). Такий хід інтенсивності виділення CO_2 з ґрунту збігається з динамікою температури в ґрунті на глибинах 20–25 см. В період максимальної інтенсивності ґрунтовий потік зростає у 2–2,5 раза порівняно з полуденними годинами. Денний потік (від 7 до 19 год.) становить у період активної вегетації 30–40% сумарного виділення CO_2 ґрунтом. Атмосферний потік CO_2 має також чітко виражену добову динаміку, протилежну за спрямованістю динаміці ґрунтового потоку: максимальні його значення припадають на 12–15 год. В окремі дні в післяполудневі години відмічено зменшення атмосферного потоку, що очевидно, обумовлено полуденною депресією фотосинтезу (рис. 2.9, А, Б).

Найбільш інтенсивні денні потоки CO_2 спостерігаються в період активного росту агрофітоценозів і досягають $13\text{--}14 \text{ г CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$, зменшуючись до кінця вегетаційного сезону до $4\text{--}5 \text{ г CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$. Нічні максимальні абсолютні значення атмосферних потоків CO_2 приурочені до 22–23 год. і в окремих випадках дорівнюють найбільшим значенням

ґрунтового потоку CO_2 в ці ж години (рис. 2. 9, Б). У нічні години різниця між атмосферним потоком і ґрунтовим дає уявлення про надходження CO_2 від дихання наземних органів. В результаті цих досліджень було встановлено, що в агрофітоценозах за вегетаційний період нічне дихання становить від 10 до 50% кількості CO_2 , асимільованого посівом протягом світлового дня, в період інтенсивного росту — не більше 10%, а після його закінчення — близько 40–50%. Денний хід сумарного потоку CO_2 аналогічний добовим змінам атмосферного потоку, однак більш згладжений у порівнянні з атмосферним у результаті посилення ґрунтового потоку в ранкові та вечірні години та випаровування. Впродовж вегетаційного сезону сумарний та атмосферний потоки максимальні у періоди найбільш інтенсивного росту рослин, при цьому атмосферний потік становить 65–80% сумарного протягом світлового дня. До початку фази молочної стиглості зерна сумарний потік зменшується в 3–4 рази.

Під час дозрівання колосся площа зелених листків зменшується на 50%, що спричиняє зниження витрати органічної речовини на їх нічне дихання до $0.8\text{--}1.0 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$, тобто, майже вдвічі. Поступове пожовтіння листя призводить до зменшення інтенсивності дихання, а через 6–8 діб після початку пожовтіння — аж до повного припинення дихання. З урахуванням зростаючої з часом маси стебел на нічне дихання наземних органів у середньому щодоби втрачається близько 10 г CO_2 з 1 м^2 посіву, що становить 15–30% сумарного денного потоку вуглекислого газу. Ці значення добре збігаються з результатами стосовно різниці атмосферного і ґрунтового потоків CO_2 в нічний час, про що було сказано вище. Отримані авторкою результати свідчать про широкі можливості використання аеродинамічного методу для визначення асиміляційної діяльності рослинних угруповань. Зазначається, однак, що в незамкнених екосистемах, наприклад сухостепових або пустельних, а також агроекосистемах на початковій стадії їх формування, яка характеризується великою неоднорідністю біо-

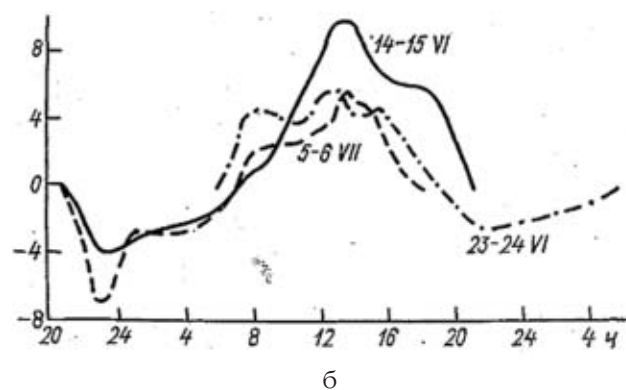
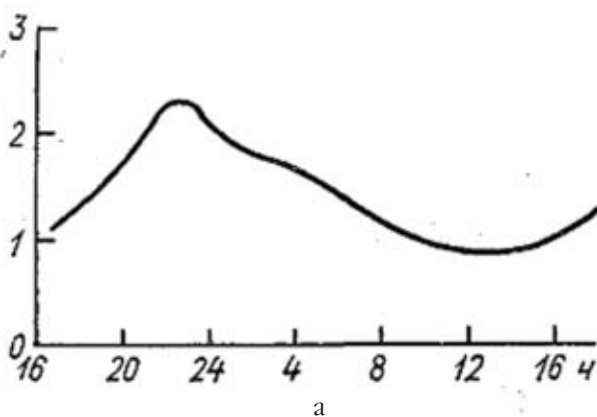


Рис. 2. 9. Добові зміни потоку CO_2 з ґрунту (а) та в атмосфері (б) на полі озимого жита в червні-липні 2014 р. [4, с. 59]. На осі абсцис — години доби, на осі ординат — концентрація CO_2 ($\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$)

метричного матеріалу (фази кушіння і виходу в трубку), можуть виникнути значні похибки у визначенні градієнтів CO_2 та його потоків. Результати цих досліджень доцільно враховувати також під час застосування сучасних дистанційних методів вивчення GPP та NPP.

Для виявлення динаміки поглинання CO_2 за вегетаційний період 2012–2013 рр. та оцінки сумарного внеску різними типами сільгоспкультур ми провели суміщення класифікованих знімків території України з продуктом MOD17, 8-денні серії яких дозволяють оцінити GPP та NPP в кг С/м^2 на добу усереднено для пікселя в 1 км^2 . Детальний опис алгоритму створення продуктів MOD17 можна знайти в роботах [8, 9, 11 та ін.]. Цей алгоритм базується на співвідношенні між активною поглинутою фотосинтетичною радіацією (APAR) та чистою первинною продуктивністю NPP, яке було запропоновано J. Monteith (1972) [10]. APAR залежить від природних умов та типу рослинного покриву. Зокрема, J. Monteith встановив, що річне NPP добре зволжених та забезпечених добривами посівів сільгоспкультур має лінійну залежність від поглинутої фотосинтетично активної сонячної радіації (APAR), яка залежить від географічної та сезонної зміни довжини дня та потенційної радіації. На останню впливають хмари та аерозолі, а також геометрія листяної поверхні, що поглинає сонячну енергію [10, 11]. Тому, алгоритм створення продукту MOD17 передбачає використання низки інших даних, і, зокрема продукту MOD12Q1, що надає інформацію про класи земного покриття, та продукту MOD15, який за-

безпечує дані LAI (індекс листяної поверхні) та FPAR (частина поглинутої сонячної радіації) [8, 9, 11]. Для розрахунків також використовуються параметри, які специфічні для кожного типу земного покриття. Вони формують так звані оглядові таблиці параметрів біома BLUT (*Biome Parameter Look-up Table*), що докладно розглядається в [6, 7, 9 та ін.].

При застосуванні продуктів MOD17A2 розрахунок, наприклад, GPP у кг С/м^2 на добу проводиться на основі першого шару продуктів з використанням залежності [11]:

$$GPP = (D_{\text{pixel}} \cdot \text{scale factor}) / 8 \quad (2.11)$$

де GPP — валова первинна продуктивність (С кг/м^2 на добу); D — значення пікселя знімку 8-денної серії в умовних одиницях (від 0 до 32 677); *scale factor* — масштабний коефіцієнт (зазвичай дорівнює 0.0001).

Аналогічно за 8-денними серіями розраховується NPP, але при цьому використовується другий шар продукту MOD17 A2 [11].

Відповідно, щоб одержати накопичене значення GPP або NPP, необхідно провести підсумовування окремих знімків, що охоплюють 8-денний період [11].

Слід зазначити, що продукт MOD17 A3 надає накопичені за рік значення валової первинної продуктивності та чистої первинної продуктивності. На час проведення досліджень такі дані були для періоду з 2000 до 2010 р. Тому для 2013 р. річні підрахунки GPP та NPP для території досліджень виконані нами самостійно на основі 8-денних серій знімків за період з 15 жовтня 2012 р. по 15

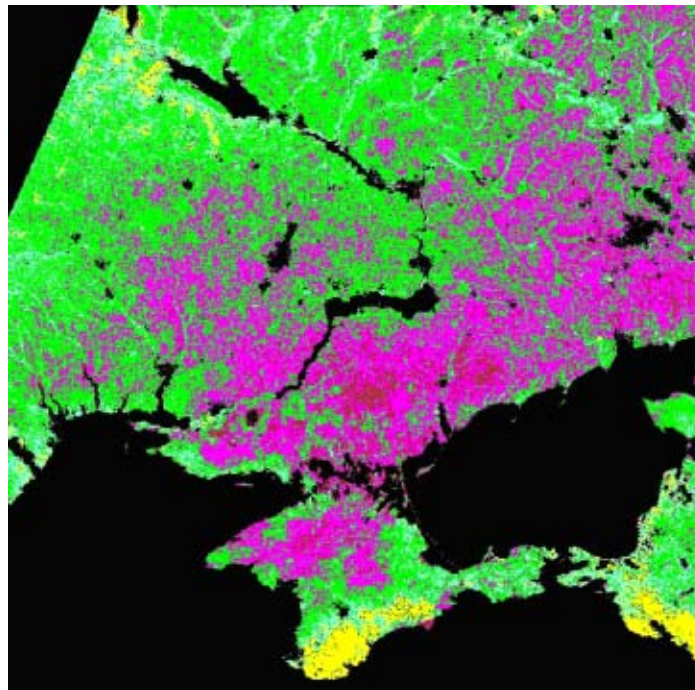


Рис. 2.10. Розподіл сумарних річних значень GPP для центральних та південних областей України за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. Річні значення GPP у С кг/м^2 : коричневий колір — менше 0.4; фіолетовий: 0.4–0.55; зелений: 0.55–0.7; аквамариновий — 0.7–0.9; жовтий понад 0.9

жовтня 2013 р. Приклад такого сумарного знімку для GPP показано на рис. 2.10.

Для створення продукту MOD17/MYD17 розробники використовують дані класифікації, а саме продукт MOD12Q1, який надає розповсюдження класів земного покриття у відповідності до номенклатури IGBP (*International Geosphere-Biosphere Programme*). Ці класи включають: 0 — водна поверхня; 1 — вічно-зелені хвойні ліси; 2 — вічнозелені широколистяні ліси; 3 — листопадні хвойні ліси; 4 — листопадні широколистяні ліси; 5 — мішані ліси; 6 — зімкнуті кущі; 7 — луки з кущами; 8 — залісена савана; 9 — савана; 10 — луки; 11 — болота та зволожені луки долин річок; 12 — агроценози; 13 — урбанізовані території; 16 — земна поверхня з розрідженою рослинністю; 254 — некласифіковані піксели.

На території України розповсюджена лише частина з цих класів, а саме класи з номерами: 0, 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 16. При цьому класи 0 — водна поверхня, 13 — урбанізовані території виключаються з розгляду при створенні продуктів MOD17/MYD17. Для цього використовується відповідна маска на зображеннях.

Таким чином, для вивчення динаміки та загальної суми поглинання CO₂ в межах площі, що займають окремі сільськогосподарські культури, нам необхідно було виконати власну класифікацію земно-

го покриття, бо агроценози продукту MOD12Q1 не розділяються на сільгоспкультури.

З цією метою були проведені масштабні завіркові субмеридіональні маршрутні спостереження, що дозволило сформувати сигнатури основних класів рослинного покриву агроценозів і виконати достатньо надійну класифікацію земного покриття. В результаті сумісної обробки супутникових та наземних даних за методикою, що викладена в роботах [1, 6, 7], ми отримали класифіковані зображення в межах різних районів України. Для знімків MODIS виконана класифікація агроценозів з виділенням основних груп сільгоспкультур не тільки в межах окремих областей, а і для всієї території України. При цьому в межах агроценозів, що відповідають класу 12 за номенклатурою IGBP, виділені ярі просапні культури, озимі культури, ярі зернові та зернобобові, оранка та відкритий ґрунт. Крім того, виділялись прибережна рослинність, луки заплав річок та заболочені землі (11), населені пункти (13), промислові зони та техногенні об'єкти (13, 16), водна поверхня (0), листяні (4) та хвойні ліси (1), кущі та луки, пасовища, неугіддя (7) та ін. В дужках позначено номер класу за номенклатурою IGBP. Отримані результати з класифікації земного покриття центральних, південних та східних регіонів України за даними MODIS/TERRA у 2013 р. представлено на рис. 2.11.

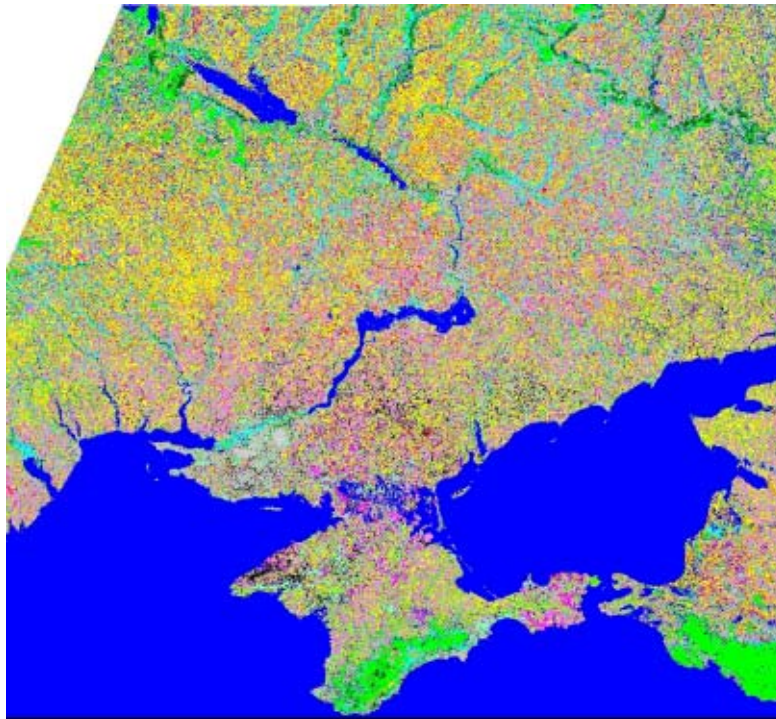


Рис. 2.11. Результати класифікації земного покриття в межах центральних регіонів території України за знімками MODIS/TERRA у 2013 р.

Жовтий, коричневий, помаранчевий колір — ярі просапні культури (12), фіолетовий та червоний колір — озимі культури (12); світло-зелений — ярі зернові та зернобобові (12); пурпурний — овочеві культури (12); чорний — оранка та відкритий ґрунт (12); бірюзовий — прибережна рослинність, луки заплав річок, заболочені території (11); сірий — населені пункти, промзони та техногенні об'єкти, розріджена рослинність (13, 16); синій — водна поверхня (0); зелений — листяні ліси (4); світло-коричневий — кущі, луки, неугіддя (7); темно-зелений — хвойні ліси (1). В дужках позначено номер класу за номенклатурою IGBP

Такі дані для всієї території України одержані вперше, що дало нам змогу оцінити структуру посівних площ для різних областей.

Суміщення класифікованих зображень з продуктами MOD17 дозволило провести достатньо детальний аналіз зміни GPP та NPP для конкретних сільгоспкультур у процесі вегетаційного циклу 2012–2013 рр., а також у річному підсумку та виявити низку особливостей з кількісною оцінкою в межах окремих областей України, що знаходяться в різних ландшафтно-кліматичних зонах.

Враховуючи те, що піксел продукту MOD17 має розмір $1\text{ км} \times 1\text{ км}$, тобто покриває площу 1 км^2 , для зіставлення значень GPP та NPP з посівами сільгоспкультур на класифікованому зображенні ми вибирали поля окремих культур, що повністю охоплювали піксели MOD17. Те саме відноситься до інших класів земного покриття (листяні та соснові ліси, пасовища, луки заплав річок та зарості очерету). З кожної області для аналізу відібрано близько 30 ділянок, дані яких усереднювались для кожного класу в межах області.

Таким чином, для Миколаївської, Дніпропетровської та Черкаської (з південними районами Київської) областей за 8-денними серіями продукту MOD17 нами були отримані усереднені дані зміни GPP та NPP та їх річні значення за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. для посівів озимих зернових, соняшнику, кукурудзи, а також деяких інших класів земного покриття (рис. 2.11–2.14).

Характеристика динаміки GPP сільськогосподарських культур та інших класів трав'янистої та дерев'янистої рослинності

Як свідчать наведені на рис. 2.12 графіки, період настання максимуму GPP озимих зернових однаковий для всіх досліджених областей і припадає на весняні місяці (квітень–травень). Найвища амплітуда GPP у 2013 р. була характерна для озимих зернових Черкаської та південної частини Київської областей. Вона зафіксована у період 25 травня–01 червня 2013 року і становила 8.86 г С/м^2 за добу.

м^2 за добу, що в перерахунку сягає $8.55\text{ }\mu\text{моль/м}^2\cdot\text{с}$ (табл. 2. 10).

Максимальні значення GPP озимих зернових Миколаївської та Дніпропетровської областей у 2013 р. за даними MOD 17 спостерігались у період 1–8 травня (більш ніж на три тижні раніше, ніж на Черкащині та півдні Київщини) і мали між собою дуже незначні відмінності (відповідно 7.26 та 7.13 г С/м^2 за добу). Саме в цей час на окремих площах південної частини України, за даними Гідрометеоцентру [12], почалося передчасне колосіння озимих культур, зумовлене інтенсивним нагромадженням тепла. Станом на 31 травня 2013 р. розвиток всіх сільськогосподарських культур в Україні відбувався зі значним випередженням середніх багаторічних термінів внаслідок підвищеного теплозабезпечення, оскільки за період 11 квітня–31 травня середня температура повітря перевищила норму на $3\text{--}4^\circ\text{C}$. За цей же період на переважній частині території країни зберігався дефіцит опадів (кількість опадів в основному не перевищувала $30\text{--}60\%$ норми). Наприкінці травня в озимих пшениці, ячменю та жита тривало масове колосіння і цвітіння колоса. На багатьох площах південних, східних, окремих площах центральних областей через відсутність ефективних опадів відмічалось передчасне пожовтіння та засихання листків, стебел рослин, а зерно озимого ячменю і пшениці надзвичайно рано досягло молочної стиглості (<http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1017439>) [13].

Ці погодні умови чітко відображені на графіках GPP озимих зернових Миколаївської та Дніпропетровської областей. Зокрема, на Миколаївщині станом на 2–9 червня значення GPP (2.6 г С/м^2 за добу) вдвічі менші, ніж за попередній період 25 травня–1 червня (5.32 г С/м^2 за добу). На Дніпропетровщині падіння GPP було не таким різким і спостерігалось дещо пізніше: у період 18–25 червня значення GPP озимих зернових тут становили 4.08 г С/м^2 за добу, а вже в наступний 8-денний проміжок часу зменшились до 2.42 г С/м^2 за добу. Тоді ж зафіксоване різке падіння GPP озимих зернових Черкащини та південної частини Київщини: від 6.11 г С/м^2 за добу за період 18–2 червня до 2.88 г С/м^2 за добу у на-



Рис. 2.12. Динаміка GPP основних сільськогосподарських культур досліджених областей України (суцільна лінія – посіви озимих зернових, пунктирна лінія – посіви соняшнику, крапчаста лінія – посіви кукурудзи). По осі x – початкова дата 8-денної серії знімку, по осі y – GPP, г С/м^2 за добу $\cdot 0,0001$

Таблиця 2.10

Найбільші значення GPP впродовж вегетаційного періоду 2013 року для посівів окремих сільськогосподарських культур трьох областей України за даними MOD17 $\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

Області	Сільськогосподарські культури та дата фіксації максимального значення GPP ($\mu\text{моль} \cdot \text{С} / \text{м}^2 \text{ за с}$)					
	Озимі зернові		Соняшник		Кукурудза	
	$\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Дата	$\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Дата	$\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Дата
Черкаська та південна частина Київської	8.55	25 травня	7.45	18 червня	7.17	18 червня
Дніпропетровська	6.88	01 травня	5.00	20 липня	6.53	18 червня
Миколаївська	7.00	01 травня	6.66	18 червня	6.04	12 червня

ступні 8 днів (26 червня–4 липня). Отже, процес дозрівання колосу супроводжується швидким зменшенням показників GPP озимих зернових у всіх досліджених областях України до приблизно однакових значень (в середньому до $2.6 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$). Наступне (в липні) незначне підвищення GPP у Миколаївській та Дніпропетровській областях, вірогідніше, пояснюється запізненням із лушенням стерні та відростанням бур'янів на площах після збирання врожаю ранніх зернових.

Таким чином, аналіз динаміки GPP озимих зернових засвідчив, що найбільші значення цього параметра були приурочені до фази колосіння – цвітіння. Під час досягання зерна озимих зернових відбувається різке падіння показників валової первинної продуктивності.

Влітку (червень–липень) спостерігалися високі значення GPP у посівів соняшнику та кукурудзи, які, проте, не перевищували рівень озимих зернових. Високі показники GPP посівів кукурудзи для всіх проаналізованих територій припадали на період від 18 червня до 28 липня–4 серпня, що відповідає фазам кінця листкоутворення, викидання волоті, цвітіння та наливу зерна. Такий розтягнутий в часі період активного фотосинтезу посівів кукурудзи може бути пояснений різними строками сівби цієї просапної культури (<http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1018218>) [14].

Цікаво, що посіви соняшнику майже на всій дослідженій території (за винятком Дніпропетровської області) на початкових фазах вегетаційного періоду, тобто в кінці травня–на початку червня, мали значення GPP в середньому на $0.5 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$ вищі, ніж посіви кукурудзи, але в подальшому посіви кукурудзи перевищували в середньому на $1–1.4 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$ посіви соняшнику за цим показником. А на Дніпропетровщині в першій частині вегетаційного сезону посіви кукурудзи мали більші в середньому на $1 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$ значення GPP, аніж посіви соняшнику, в той час як в другій половині вегетації за динамікою GPP ці посіви практично не відрізнялись.

GPP посівів соняшнику в усіх досліджених областях характеризувалась найнижчими значеннями серед інших сільськогосподарських культур і не перевищувала $8 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$. Для цієї олійної культури достатньо високі показники GPP фіксувались

також протягом тривалого періоду (фактично на тиждень довше, ніж кукурудзи): з 10 червня до 28 липня–4 серпня, що відповідало фазам листкоутворення, цвітіння та формування кошиків і, вірогідно, було викликане розтягнутими в часі строками сівби соняшнику. Зниження високих показників GPP посівів традиційної олійної культури до значень близько $3 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$ тривало близько 56 днів, в той час як у озимих зернових цей процес не перевищував одного місяця. Іншими словами, досягання зерна просапних культур супроводжується повільнішим, аніж у озимих зернових, падінням показників валової первинної продуктивності.

Отже, динаміка GPP просапних культур трьох досліджених областей засвідчує таку особливість: амплітуда їх максимальних значень не перевищує рівень озимих зернових, а досягання зерна супроводжується повільнішим, аніж у озимих зернових, падінням показників валової первинної продуктивності. Впродовж другої половини вегетації GPP посівів кукурудзи перевищували відповідні показники посівів соняшнику (за винятком Дніпропетровської області). Значення валової первинної продуктивності посівів соняшнику на всій дослідженій території не досягали рівня ані посівів озимих зернових культур, ані посівів кукурудзи.

Трав'янисті фітоценози. До трав'янистих фітоценозів за даними класифікації нами віднесено два класи: луки, пасовища, неутілля (клас 7 за номенклатурою IGBP) та зволожена прибережна рослинність, луки заплав річок та заболочені землі (клас 11 за номенклатурою IGBP). Загалом, для всіх областей було характерне більше значення GPP для рослинності об'єднаної в клас 11, практично впродовж всього вегетаційного сезону (рис. 2.13). Особливо чітко це помітно на графіках як Миколаївської області, де для аналізу були відібрані пікселі очереу поблизу річок Інгул та Південний Буг, так і Черкаської області, де існує 2.3 тис. озер, ставків та водоймищ, а на її правобережжі можливі затоплення та заболочення окремих ділянок (uk.wikipedia.org/wiki/Черкаська_область) [15].

Варто зазначити, що на Миколаївщині на початку сезону GPP пасовищ має вищі значення, ніж очереу, в середньому на $0.98 \text{ г С} / \text{м}^2 \text{ за добу}$. Але вже починаючи з 17 травня і до кінця періоду спостере



Рис. 2.13. Динаміка GPP пасовищ та очерету (суцільна лінія — пасовища, штрих-пунктирна лінія — зарості очерету). По осі x — початкова дата 8-денної серії знімку, по осі y — GPP, $\text{кг C}/\text{м}^2$ за день $\cdot 0,0001$

жень GPP зволожених лук із заростями очерету переважає показники GPP пасовищ.

Лісовкриті площі

За досліджений період впродовж весняно-літнього сезону значення GPP листяних деревостанів переважало відповідний показник для вічнозелених хвойних, причому цей час тривав у Дніпропетровській області з 15 квітня до 29 серпня 2013 р., у Херсонській — з 23 квітня до перших чисел вересня, а у Черкаській — з 23 квітня до 14 вересня 2013 р. (рис. 2.14). За вказаний проміжок часу середні добові значення GPP листяних деревостанів Херсонської області становили $5.5 \text{ г C}/\text{м}^2$, Дніпропетровської — $5.4 \text{ г C}/\text{м}^2$, а Черкаської — $7.4 \text{ г C}/\text{м}^2$, в той час як для хвойних цей показник становив відповідно $2.6 \text{ г C}/\text{м}^2$, $2.4 \text{ г C}/\text{м}^2$ та $4.8 \text{ г C}/\text{м}^2$. За весь досліджений період, тобто з 14 березня до кінця жовтня 2013 року, середні добові значення GPP для вкритих хвойними вічнозеленими породами територій набували значень $2.4 \text{ г C}/\text{м}^2$ у Херсонській, $3.3 \text{ г C}/\text{м}^2$ у Дніпропетровській та $3.8 \text{ г C}/\text{м}^2$ у Черкаській областях, що вказує на існування широтної відмінності у засвоєнні вуглецю вічнозеленими деревостанами.

Ця ж сама особливість, як видно з наведених вище даних, характерна і для листяних деревостанів. Причому значення GPP для листяних дерев Херсонської та Дніпропетровської областей майже однакові, проте значно (на $2 \text{ г C}/\text{м}^2$ за добу) нижчі, ніж такі у розташованій на північ Черкаській області. Водночас для хвойних

вічнозелених дерев подібність за цим показником була зафіксована для Дніпропетровської та Черкаської областей. Як бачимо, хвойні вічнозелені деревостани Херсонської області відмінні від інших і демонструють найнижчі середньодобові показники GPP. Це стосується як всього періоду спостережень ($2.4 \text{ г C}/\text{м}^2$), так і весняно-літнього сезону ($2.6 \text{ г C}/\text{м}^2$), що призводить до порівняно незначних коливань лінії динаміки цього показника впродовж вегетаційного сезону 2013 р. Для областей, розташованих на північ, можна помітити виражений максимум лінії динаміки GPP впродовж квітня — червня. Причиною описаної поведінки графіків GPP є те, що в Херсонській області достатньо великі площі хвойних деревостанів, порівнянні з величиною пікселя MOD17, зосереджені в районі Олешківських пісків. Саме тут знаходяться найбільші в світі штучні лісові насадження, які займають площу близько 100 тисяч га (<http://vsviti.com.ua/2014/07/oleshky-sands/>) [16]. Підліску в цих лісах практично немає, на відміну від хвойних деревостанів, розміщених у більш високих широтах. Саме наявність нижнього широколистяного і трав'янистого ярусів рослинності, які розвиваються під наметом хвойних вічнозелених, але недосить зімкнутих, деревостанів Дніпропетровської та Черкаської областей, спричиняє зазначене вище підвищення лінії динаміки їх GPP у квітні–червні.

В осінній період з 6 вересня і до жовтня 2013 р. GPP хвойних культур на Херсонщині (фактично сосни на Олешківських пісках) була в середньому на $0.8 \text{ г C}/\text{м}^2$ за добу вища, ніж у



Рис. 2.14. Динаміка GPP деревостанів (суцільна лінія — листяні, пунктирна лінія — хвойні). По осі x — початкова дата 8-денної серії знімку, по осі y — GPP, $\text{кг C}/\text{м}^2$ за день $\cdot 0,0001$

листопадних дерев. Для областей, розташованих на північ, також спостерігається така залежність, але кількісно відмінності менш значні.

Далі розглянемо річні накопичені значення GPP та NPP для окремих областей.

Дослідження GPP та NPP в межах Миколаївської, Дніпропетровської та Черкаської областей

На рис. 2.15 показано класифікований знімок Миколаївської області за 2013 р. за даними MODIS, що використовувався для визначення річних значень GPP та NPP по окремим культурах у межах області.

Проведені нами підрахунки з використанням значень продукту MOD17 та даних класифікації показують, що для Миколаївської області внесок озимих зернових культур в загальну валову продуктивність (GPP) та чисту продуктивність (NPP) складає біля 27 % при загальній площі, яка сягає майже 25 % від розрахункової площі області (табл. 2.11).

Значний внесок робить також соняшник та кукурудза, відповідно близько 20% та 10% від загальної GPP та NPP. Процентне значення GPP та NPP для кожної культури, а також для деяких інших класів земного покриття для порівняння наведено в табл. 2.11.

Підкреслимо, що розрахункова площа області не включає водну поверхню значних водойм та по-

рівняно великих населених пунктів у відповідності до маски продукту MOD17. Якщо загальна площа області становить 24 598 км², то розрахункова площа — менша і сягає 23 332.5 км², тобто вона приблизно дорівнює 95% від загальної.

Для наближеного перерахунку C кг/м² в CO₂ кг/м² необхідно значення C кг/м² помножити на 3.67, а для переходу до CO₂ кг-моль/м² треба значення CO₂ кг/м² розділити на 44.

В табл. 2.12, як приклад, для Миколаївської області наведено перерахунки для GPP з C кг/м² рік у CO₂ кг/м² рік та у CO₂ кг-моль/м² рік, а також у CO₂ мкг-моль/м² · с.

Для порівняння усереднених даних для розрахункової площі Миколаївської області річних значень GPP та NPP за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. наведемо дані MOD 17 A3 за 2000–2010 р., які нами також перераховано і усереднено для розрахункової площі області (табл. 2.13). Звертають на себе увагу низькі значення GPP та NPP у 2007 р., коли у південних регіонах України була надзвичайно сувора посуха (табл. 2.13). Для решти років відхилення від середнього значення не такі значні; отримані нами усереднені GPP та NPP для Миколаївської області за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. знаходяться в межах коливань для цієї решти років. У подальшому планується провести більш детальний аналіз зміни усереднених по області значень GPP та NPP відповідно до природних умов та структури посівних площ.

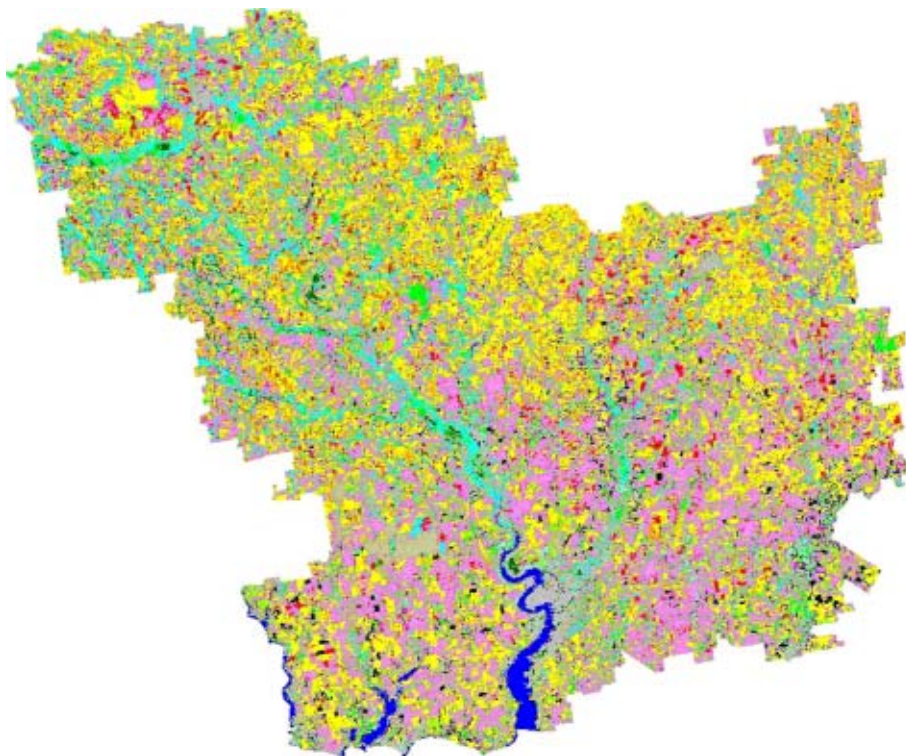


Рис. 2. 15. Результати класифікації земного покриття в межах Миколаївської області за даними MODIS у 2013 р. для оцінки динаміки зміни GPP та NPP для посівів сільгоспкультур (табл. 2.11). Умовні позначення (кольори) див. на рис. 2.10

Подібні підрахунки GPP та NPP виконано для Дніпропетровської та Черкаської областей. На рис. 2.16 показано класифіковане зображення Дніпропетровської області.

Підрахунки річних значень GPP та NPP для основних класів земного покриття Дніпропетровської області представлені в табл. 5, а перера-

хунки для GPP з $C \text{ кг/м}^2$ за рік у $CO_2 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{рік}$ та у $CO_2 \text{ мкг-моль/м}^2 \cdot \text{с}$ в табл. 2. 15.

В табл. 2. 16, аналогічно до Миколаївської області представлено дані MOD 17 A3 за 2000–2010 рр., які нами усереднено і перераховано для розрахункової площі Дніпропетровської області. Загалом, зміна річних значень GPP та NPP, усереднених для розра-

Таблиця 2. 11

Річні значення GPP та NPP для основних сільгоспкультур та інших класів земного покриття в межах Миколаївської області за даними MOD17 (вегетаційний цикл 15 жовтня 2012 р.–15 жовтня 2013 р.)

Клас земного покриття	Площа. км^2	Усереднене GPP С кг/м^2 за рік	Усереднене NPP С кг/м^2 за рік	Сумарне GPP для області С т рік	Сумарне NPP для області. С т рік	% від GPP області	% від NPP області	% від розрахункової площі області
Озимі зернові	5857.14	0.6578	0.4825	3853061	2826011	26.7	26.3	25.1
Соняшник	5405.75	0.5634	0.3897	3045600	2106350	21.1	19.6	23.17
Кукурудза	2358.25	0.6033	0.4043	1422732	953464.1	9.85	8.86	10.11
Сосновий ліс	194.54	0.7338	0.4434	142755.4	862648.7	0.99	0.8	0.834
Листяний ліс	732.26	0.9234	0.5555	676168.9	406777.8	4.68	3.78	3.138
Пасовища	1758.08	0.7041	0.5301	1237847	931940.6	8.57	8.66	7.535
луки на вододілах								
Луки долин річок.	1877.32	0.8199	0.5267	1539309	988634.3	10.7	9.19	8.046
заболочені луки								
Інші класи*	5149.6	0.4913	0.4775	2530054	2458869	17.51	22.85	22.05
Загальна розрахункова площа	23332.5	0.6195	0.4611	14447526	10758312	100	100	100

* До інших класів входять ярі зернові культури, ріпак, овочеві культури, соя, виноградники, поверхня невеликих озер та річок, а також дороги, населені пункти сільського типу та невеликі інфраструктурні об'єкти, що не входять до маски продукту MOD17.

Таблиця 2. 12

Перерахунки усереднених річних GPP з $C \text{ кг/м}^2$ у $CO_2 \text{ кг/м}^2$ та у $CO_2 \text{ мкг-моль/м}^2$ за рік і $\mu\text{моль } CO_2 / \text{м}^2$ за с для Миколаївської області

Клас	$C \text{ кг/м}^2$ за рік	GPP $CO_2 \text{ кг/м}^2$ за рік	GPP $CO_2 \text{ мкг-моль/м}^2$ за рік	GPP $CO_2 \text{ моль/м}^2$ за сек	Сума GPP $C, \text{ т}$ за рік для області	Сума GPP $CO_2, \text{ т}$ за рік для області	Сума GPP $CO_2, \text{ т-моль}$ за рік для області	Сума GPP $CO_2, \text{ моль}$ за сек. для області $\cdot 10^{10}$
Озимі зернові	0.6578	2.4141	0.05487	1.7398	3852827	14139874	321360.8	1.0191
Соняшник	0.5634	2.0677	0.04699	1.4901	3045600	11177350	254030.7	0.8055
Кукурудза	0.6033	2.2141	0.05032	1.5957	1422732	5221427	118668.8	0.3763
Сосновий ліс	0.73381	2.6931	0.06121	1.9408	142755.4	523912	11907.1	0.03776
Листяний ліс	0.9234	3.3889	0.07702	2.4423	676168.9	2481540	56398.63	0.1788
Пасовища	0.70409	2.5840	0.05873	1.8622	1237847	4542897	103247.7	0.3274
Луки зволожені	0.81995	3.0092	0.06839	2.1687	1539309	5649262	128392.4	0.4071
Для загальної розрахункової площі	0.6192	2.2725	0.05165	1.6377	14447549	53022506	120505.7	3.8212

Таблиця 2. 13

Річні значення GPP та NPP, усереднені для розрахункової площі Миколаївської області за 2000–2010 рр. за даними MOD17 A3

Рік	Усереднене GPP C кг/м^2 за рік	Усереднене NPP C кг/м^2 за рік
2000	0.6277	0.389
2001	0.7175	0.4309
2002	0.5957	0.3422
2003	0.6069	0.3661
2004	0.7493	0.4611
2005	0.682	0.4213
2006	0.6866	0.4292
2007	0.4766	0.2756
2008	0.6858	0.4007
2009	0.5888	0.342
2010	0.7395	0.4328
Середнє	0.6506	0.3901

хункової площі Дніпропетровської області за 2000–2010 рр. за даними MOD17 A3, подібна до Миколаївської області. Зокрема, спостерігається різке падіння GPP та NPP у 2007 р. через значну посуху.

При визначенні усереднених значень GPP та NPP для сільгоспкультур (озимі зернові, кукурудза, соняшник) для Черкаської області використовувались окремі поля півдня Київської області у граничних районах, що практично знаходились в одних ландшафтно-кліматичних умовах з полями Черкаської області. Тому визначені значення GPP та NPP наближено характеризують також поля південних районів Київської області.

Класифіковане зображення Черкаської області

показано на рис. 2. 17, а результати розрахунків GPP та NPP аналогічно до Миколаївської та Дніпропетровської областей представлені в табл. 2.17–2. 19.

При порівнянні річних значень GPP та NPP трьох досліджених областей добре помітно, що у Черкаській області вони значно вищі (приблизно на 10–15%), ніж у Миколаївській та Дніпропетровській областях. В той же час Миколаївська та Дніпропетровська області за цими показниками майже не відрізняються одна від одної. Для Миколаївської області вони трохи вищі, але несуттєво.

У першому наближенні, якщо припустити, що усереднене річне значення GPP та NPP для південних областей України (Одеська, Херсонська, Запорізька області) подібне до такого Миколаївської області, а для центральних та східних областей України (Кіровоградська, Донецька, Луганська області) — відповідно до Дніпропетровської області, а для решти областей (західні, північні і центрально-північні області України) взяти усереднені значення Черкаської та Київської областей, то ми отримуємо, враховуючи дані класифікації, наближений сумарний внесок у GPP та NPP сімох основних типів рослинного покриву для території України (табл. 2. 20).

У подальшому планується значно уточнити ці дані (табл. 2.19) за рахунок детальних вимірів і визначень

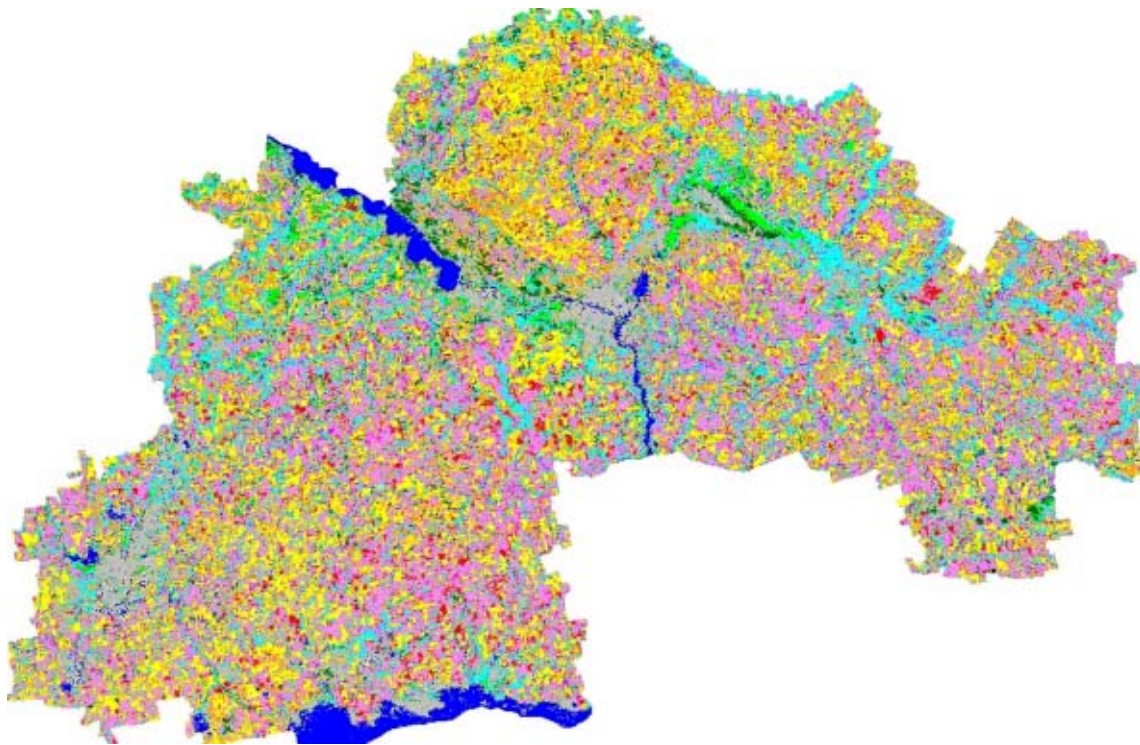


Рис. 2. 16. Результати класифікації земного покриття в межах Дніпропетровської області за даними MODIS у 2013 р. для оцінки динаміки зміни GPP та NPP для посівів сільгоспкультур (табл. 2.14). Умовні позначення (кольори) див. на рис. 2.11. Підрахунки річних значень GPP та NPP для основних класів земного покриття Дніпропетровської області представлені в табл. 5, а перерахунки для GPP з C кг/м^2 за рік у CO_2 $\text{кг/м}^2 \cdot \text{рік}$ та у CO_2 $\text{мкг-моль/м}^2 \cdot \text{с}$ в табл. 2.15.

Таблиця 2. 14

Річні значення GPP та NPP для основних сільгоспкультур та інших класів земного покриття в межах Дніпропетровської області за даними MOD17 (вегетаційний цикл 15 жовтня 2012 р. – 15 жовтня 2013 р.)

Клас земного покриття	Площа км^2	Усереднене GPP С кг/м^2 за рік	Усереднене NPP С кг/м^2 за рік	Сумарне GPP для області С т рік	Сумарне NPP для області С т рік	% від GPP області	% від NPP області	% від розрахункової площі області
Озимі зернові	5857.14	0.6578	0.4825	3853061	2826011	26.7	26.3	25.1
Соняшник	5405.75	0.5634	0.3897	3045600	2106350	21.1	19.6	23.17
Кукурудза	2358.25	0.6033	0.4043	1422732	953464.1	9.85	8.86	10.11
Сосновий ліс	194.54	0.7338	0.4434	142755.4	862648.7	0.99	0.8	0.834
Листяний ліс	732.26	0.9234	0.5555	676168.9	406777.8	4.68	3.78	3.138
Пасовища, луки на вододілах	1758.08	0.7041	0.5301	1237847	931940.6	8.57	8.66	7.535
Луки долин річок, заболочені луки	1877.32	0.8199	0.5267	1539309	988634.3	10.7	9.19	8.046
Інші класи*	5149.6	0.4913	0.4775	2530054	2458869	17.51	22.85	22.05
Загальна розрахункова площа	23332.5	0.6195	0.4611	14447526	10758312	100	100	100

Таблиця 2. 15

Перерахунки усереднених річних GPP з С кг/м^2 у $\text{CO}_2 \text{ кг/м}^2$ та у $\text{CO}_2 \text{ кг-моль/м}^2$ за рік і $\mu\text{моль CO}_2 / \text{м}^2$ за с для Дніпропетровської області

Клас	С кг/м^2 за рік	GPP $\text{CO}_2 \text{ кг/м}^2$ за рік	GPP $\text{CO}_2 \text{ кг-моль/м}^2$ за рік	GPP $\text{CO}_2 \mu\text{моль/м}^2$ за сек.	Сума GPP С т за рік для області	Сума GPP $\text{CO}_2 \text{ т}$ за рік для області	Сума GPP $\text{CO}_2 \text{ т-моль}$ за рік для області	Сума GPP $\text{CO}_2 \mu\text{моль}$ за сек. для області $\cdot 10^{10}$
Озимі зернові	0.6571	2.4115	0.0548	1.7379	4630777	16994950	386248.9	1.2248
Соняшник	0.5121	1.8792	0.0427	1.3543	2890082	10606602	241059.1	0.7644
Кукурудза	0.585	2.1469	0.0488	1.5472	2224102	8162455	185510.3	0.5882
Сосновий ліс	0.8107	2.9752	0.0676	2.1441	631984.5	2319383	52713.25	0.1672
Листяний ліс	0.9133	3.3519	0.0762	2.4156	808625.2	2967655	67446.7	0.2139
Пасовища	0.6797	2.4945	0.0567	1.7977	1331619	4887040	111069.1	0.3522
Луки зволожені	0.7372	2.7056	0.0615	1.9499	3280390	12039033	273614.4	0.8676
Для загальної розрахункової площі	0.6029	2.2126	0.0503	1.5946	17850468	65511217	1488891	4.7212

GPP та NPP основних типів рослинного покриття в межах кожної адміністративної області України.

Таким чином, можна відмітити такі особливості накопичення GPP та NPP для розглянутих областей. Найбільші річні значення GPP та NPP для територій з посівами основних сільгоспкультур має Черкаська область та південь Київської області. Для Дніпропетровської області характерні найнижчі значення, але вони мало відрізняються від таких Миколаївської області. Те саме стосується решти рослинного покриття.

У структурі посівних площ Миколаївської та Дніпропетровської областей озимі зернові становлять близько 25% і відповідно їх внесок у GPP та NPP перевищує 25%. На ліси тут припадає майже 5%.

Для Черкаської області та півдня Київської області у структурі посівних площ спостерігається перевага кукурудзи — приблизно 20%, і внесок в GPP та NPP цієї культури сягає приблизно 21%.

Ліси Черкаської області займають площу близько 15%, але їх внесок у поглинання CO_2 досить суттєвий — понад 20%.

Загалом, внесок рослинного покриття агроценозів і, зокрема, територій зайнятих посівами озимих зернових культур, соняшника та кукурудзи, у річні показники GPP та NPP і відповідно у накопичення вуглецю та поглинання CO_2 для розглянутих областей досить значний. Лише для зазначених культур він становить біля 55% для Миколаївської та Дніпропетровської областей та майже 45% для Черкаської області. Звичайно, таке поглинання CO_2

необхідно враховувати у загальному карбоновому балансі.

Перерахунки значень GPP з C , $кг/м^2$, за даними MOD17 A2 в усереднені значення поглинання CO_2 , $μмоль/м^2$ за с, показують, що вони змінюються в інтервалі приблизно від 1.4 до 3.3 $μмоль/м^2$ за с. Найменші значення характерні для територій, де зафіксовані посіви соняшника в Дніпропетровській області, а найбільші — для територій листяних лісів у Черкаській області та у південних районах Київської області. Слід зазначити, що за даними MOD17 A2 в періоди активної фази вегетації значення GPP та NPP значно перевищують усереднені значення у $μмоль/м^2$ за с, які приведені до сумарних річних накопичень GPP та NPP. Так, в окремі періоди росту за 8-денними серіями MOD17 A2 фіксуються значення GPP, що, наприклад, для озимих зернових в 4.5 рази перевищують усереднені за рік значення. Те саме стосується інших типів рослинного покриття.

В подальшому планується продовжити подібний

Таблиця 2.16

Річні значення GPP та NPP, усереднені для розрахункової площі Дніпропетровської області за 2000–2010 рр. за даними MOD17 A3

Рік	Усереднене GPP С. $кг/м^2$ за рік	Усереднене NPP С. $кг/м^2$ за рік
2000	0.6357	0.4002
2001	0.6578	0.3976
2002	0.5569	0.3163
2003	0.6364	0.3875
2004	0.7329	0.4619
2005	0.6757	0.4172
2006	0.6556	0.4026
2007	0.4842	0.2602
2008	0.606	0.3454
2009	0.5542	0.3242
2010	0.7575	0.3538
Середнє	0.6321	0.3697

моніторинг для наступних років та деяких інших областей, а також провести ретроспективні дослідження для окремих ділянок з метою виявлення тенденції зміни GPP та NPP в часі.

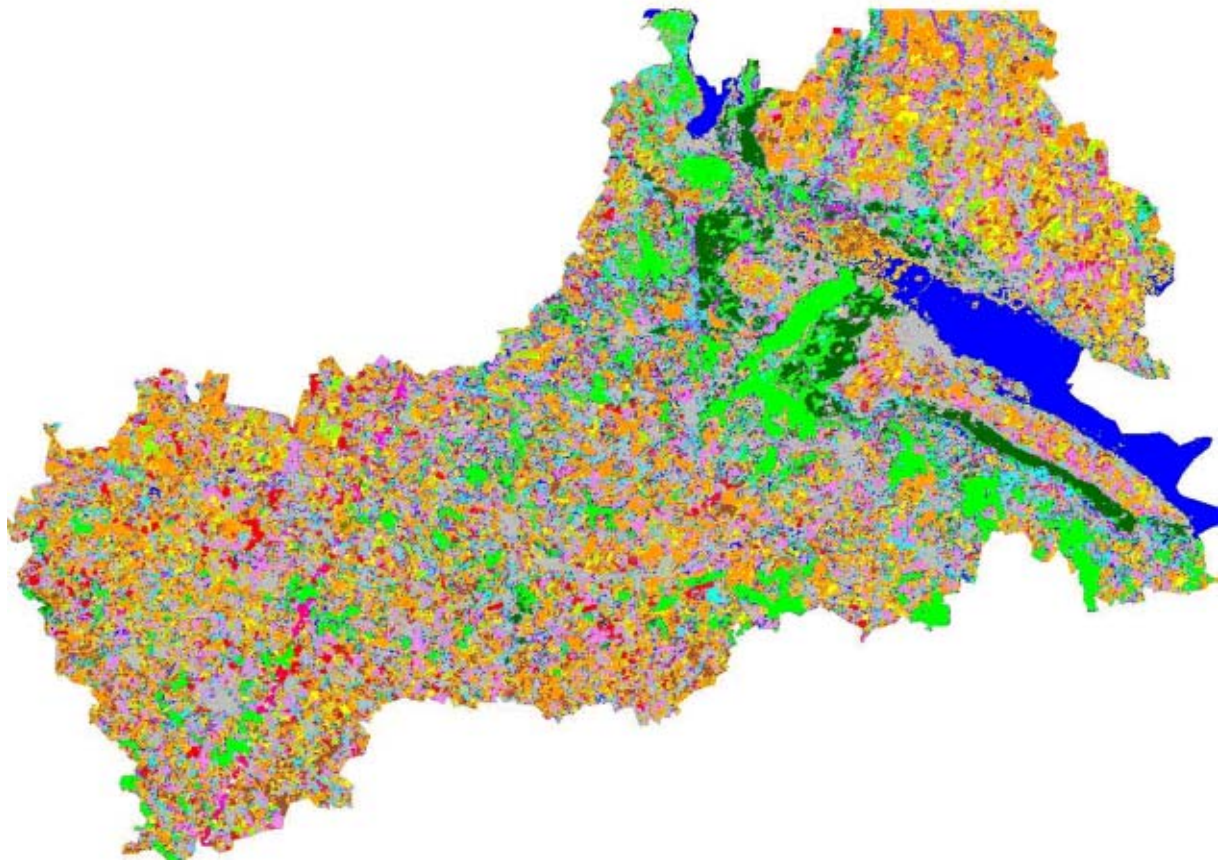


Рис. 2. 17. Результати класифікації земного покриття в межах Черкаської області за даними MODIS у 2013 р. для оцінки динаміки зміни GPP та NPP для посівів сільгоспкультур (табл. 2.17, 2.18). Умовні позначення (кольори) див. на рис. 2. 10

Список літератури до розділу 2. 4

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лялько В. І., Федоровський О. Д., Попов М. О. та ін.] за ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 357 с.
2. Дрѐ Ф. Экология. / Ф. Дрѐ — М.: Атомиздат, 1976. — 168 с.
3. Закон України "Про охорону земель" (ст.) м. Київ, 19 червня 2003 року N 962-IV.
4. Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. / К. И/ Кобак — Л.: Гидрометеониздат, 1988 — 248 с.
5. Паламарчук М. М. Географія України: Підр. для серед-

Таблиця 2. 17

Річні значення GPP та NPP для основних сільгоспкультур та інших класів земного покриття в межах Черкаської області за даними MOD17 (вегетаційний цикл 15 жовтня 2012 р.– 5 жовтня 2013 р.)

Клас земного покриття	Площа км ²	Усереднене GPP С кг/м ² за рік	Усереднене NPP С кг/м ² за рік	Сумарне GPP для області С т рік	Сумарне NPP для області С т рік	% від GPP області	% від NPP області	% від розрахункової площі області
Озимі зернові	2 653.1	0.7686	0.5897	2 039 075	1 564 506	15.1	15.4	13
Соняшник	1 541.36	0.6364	0.4866	980 862.6	749 948.1	7.264	7.38	7.55
Кукурудза	4 398.14	0.6721	0.4980	2 95 5798	2 190 375	21.89	21.55	21.5
Сосновий ліс	830.56	0.9327	0.6025	774 667.7	500 422	5.737	4.925	4.07
Листяний ліс	1 861.67	1.2600	0.8537	2 345 717	1 589 385	17.37	15.64	9.12
Пасовища	607.3	0.7704	0.5723	467 882.1	3 47 585.7	3.465	3.42	2.97
Луки на вододілах	1 761.2	0.9247	0.6152	1 628 617	1 083 512	12.06	10.66	8.63
Луки долин річок, заболочені								
Інші класи*	3 601.0	0.6417	0.5932	2 310 795	2 136 144	17.11	21.02	20.87
Загальна розрахункова площа	17 254.3	0.7826	0.58895	13 503 415	10 16 1877	100	100	100

* Те саме, що і для табл. 2.10.

- шк. — 2-ге вид., перероблене і доповнене. — К.: Освіта, 1992. — 159 с.: іл., карти.
- Classification of space images for forest state identification within the Siberia region (Part 1) / [A. I. Sakhaty, V. I. Lyalko, A. Ja. Khodorovsky, I. Ja. Bujanova, J. McCallum] — Laxenburg: Austria, IIASA, IR-02-29 / April 2002. — 45 p. — Режим доступу до матеріалів: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-02-029.pdf>
 - Earth observation of Ukraine and Siberia for an estimation of their state, fire risk and carbon cycle / [V. I. Lyalko, S. Nilsson, A. I. Sakhaty, A. Shvidenko, J. McCallum, A. Ja. Hodorovsky, O. G. Harechko] // New Strategies for European Remote Sensing (Ed. M. Oluic). — Rotterdam, Millpress, 2005. — P. 269–277.
 - Evaluation of MODIS GPP over a complex ecosystem in East Asia: A case study at Gwangneung flux tower in Korea / Shima C., Hong Jiyou, Hong Jinkyu, Kim Y., Kang M., Thakuri B. M., Kim Y., Chun J. // Advances in Space Research, Elsevier, 2014 — [Електронний ресурс] — Режим доступу: www.elsevier.com/locate/asr (article in press).
 - Evaluating Parameter Adjustment in the MODIS Gross Primary Production Algorithm Based on Eddy Covariance Tower Measurements / Jing Chen, Huifang Zhang, Zirui Liu, Mingliang Che Baozhang Chen // Remote Sens. 2014, 6, 3321–3348. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: www.mdpi.com/journal/remotesensing. doi:10.3390/rs6043321.
 - Monteith, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. / Monteith, J. L. // J. Applied Ecology. — 1972. — Vol. 9. — P. 747–766.
 - User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm; Version 2.0 / Heinsch, F. A., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M., Glassy, J., Jolly, W. M., Loehman, R., Bowker, C. F. et al. — Washington: MODIS Land Team, DC, USA, 2003. — 17 p.
 - <http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1016736>.
 - <http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1017439>.
 - <http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1018218>.
 - uk.wikipedia.org/wiki/Черкаська_область.
 - <http://vsviti.com.ua/2014/07/oleshky-sands/>.

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

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

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

Журнал висвітлює нові дані науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати експериментальних досліджень, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо.

Журнал має такі розділи:

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

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

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

Представлення рукописів

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

До рукопису додають акт експертизи установи, де виконана робота, відомості про авторів (ім’я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступень та вчене звання, повна офіційна назва установи, адре-

са, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (Додаток 2) у форматі JPEG/PDF або паперові примірники.

Загальні вимоги

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

Оформлення рукопису

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

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

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

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті (звичайним накресленням)
- Ініціали та прізвище автора (авторів). Ініціали відділяють проміжками (пробілами)
- Повна офіційна назва установи (установ), де виконано роботу, місто, країна

(якщо автори працюють у різних установах перед назвою установи і після прізвища ставлять однакову цифру (верхній індекс))

- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед ним та після прізвища ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті
- Ключові слова мовою статті
- © та рік
- Текст статті
- Список літератури
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме (abstract), а також ключові слова (keywords) двома мовами окрім мови статті

Текст

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

Не слід робити абзацний відступ за допомогою пробілів або табулятора! Не набирайте текст увімкнувши Caps Lock. Не робіть розрядку тексту за допомогою пробілів.

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

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

Формули треба набирати у редакторі

Microsoft Equation і не вставляти їх у текст у вигляді таблиць або зображень. Будь ласка, не використовуйте програму MathType. Формулам треба присвоювати наскрізну нумерацію.

Ілюстрації

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

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

Назву рисунка та пояснення умовних позначень треба винести до тексту.

Підписи під рисунками повинні виглядати так:

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

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

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

Література

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

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

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

При скороченні слів користуються ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” та ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. При створенні опису іноземною мовою дотримуються також вимог ГОСТ 7.11-78 “Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках в библиографическом описании произведений печати”. Бібліографічні описи складають de visu, безпосередньо за оригіналами видань.

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

ДОДАТОК 1

Авторські права і етичні норми наукової публікації

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

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

ДОДАТОК 2

Авторська згода

(документ має бути підписаний відповідальним автором публікації)

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

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами зберігається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і 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/>).

Журнал является электронным научным изданием, которое распространяется в сети Интернет в свободном доступе.

В журнале публикуются новые данные науки и практики, теоретические разработки, научные обобщения, результаты экспериментальных исследований, дискуссионные вопросы, новые концепции, гипотезы и т. п.

Журнал имеет следующие разделы:

- научные основы дистанционного исследования Земли;
- методы и средства обработки и интерпретации аэрокосмической информации;
- использование информации дистанционного исследования Земли.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов, практиков, ученых, преподавателей, инженеров, аспирантов, студентов.

Редакция рассматривает материалы публикаций с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации (Приложение 1).

Представление рукописей

Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua, или на альтернативных электронных носителях по адресу: Украина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олеся Гончара, 55-Б, редакция журнала “Украинский журнал дистанционного зондирования Земли”.

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 (Приложение 2)

в формате JPEG/PDF. В случае принятия статьи на почтовый адрес редакции высылаются отпечатанные экземпляры рукописи и сопроводительных документов.

Общие требования

Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstract), а также ключевые слова. 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 русском и украинском соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи

Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch, цветовая модель CMYK.

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

Структура рукописи

- УДК
 - Название статьи (шрифт обычный т. е. строчные буквы)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов). Инициалы отделяют пробелами
 - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях пе-

ред 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
- Ключевые слова на языке статьи
- © инициалы и фамилии авторов. Год
- Текст статьи
- Список литературы
- 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).

Текст

Пробелы. Слова, инициалы, сокращения, знаки математических операций, тире (кг, г, с., р., и т. д., мкм, Д. И. Менделеев и тому подобное) отделяют пробелами (но лишь одним!). Согласно правилам правописания пробел обязателен после любой точки, ведь точка — это признак нового слова. Этой нормой де-факто часто пренебрегают между инициалами, а между “и т. д., и т. п.” — увы! — практически всегда. Пробелом не нужно отделять тире между цифрами (например: 25–40 м), а также дефис. Не делают пробел в середине скобок, кавычек, перед запятой, точкой, двоеточием.

Не нужно делать азиатский отступ с помощью пробелов или табулятора! Для набора слов вразрядку пользуйтесь не пробелами а межбуквенным интервалом (Формат / Шрифт / Интервал / Разреженный). Не набирайте текст включив Caps Lock.

Фамилии. Напоминаем, что в текстах написанных на украинском языке мужские украинские и прочие славянские фамилии склоняются как соответствующие существительные, а женские на согласный и о — нет. Сравните: ...у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ... дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ...за Ніною Байко — за Андрієм Байком. Итак, если вы пишете по-украински, ссылаясь на автора, который Вам известен лишь по инициалам и фамилия которого заканчивается на согласный или о, Вам придется разузнать мужчина ли это или женщина.

Таблицы. Формат таблиц — MS Word. По возможности форматируйте таблицы в книжной ориентации. Размер кегля в таблицах можно уменьшить до 9 пунктов. Заголовки в таблицах делайте как можно более краткими, сокращений (кроме общепринятых) нужно избегать. Длинные и сложные заголовки рекомендуется оформлять в качестве сносок к таблице. Все таблицы должны иметь номера (если их больше одной) и заголовки. Ссылки на них в тек-

сте обязательны. *Не вставляйте их в текст в виде изображений!*

Формулы следует набирать в редакторе *Microsoft Equation*, и не вставлять их в текст в виде таблиц или изображений. Формулам надо присваивать сквозную нумерацию. Пожалуйста, не пользуйтесь программой MathType.

Иллюстрации

Все рисунки нужно пронумеровать (если их больше одного). Ссылки на них в тексте обязательны.

Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вставляют в документ Word и представляют отдельными файлами в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi на дюйм в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные знаки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.

Подписи под рисунками должны выглядеть так:

Рис. 1. Название рисунка (если в рукописи только один рисунок слово “Рис.” не пишут).

1 — пояснение условного знака под номером 1; 2 — пояснение условного знака под номером 2 и т. д.

Графики должны быть выполнены с использованием графических редакторов, которые, по крайней мере, отвечают уровню MS Excel. Не представляйте выполненные от руки и отсканированные материалы.

Литература

Ссылки на литературный источник в тексте подают в квадратных скобках. В скобках указывают порядковый номер работы, цитируемый в списке литературных источников. Список литературы составляют по алфавиту. В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — англоязычные — в порядке латинского алфавита. Библиографическое описание документов составляют по стандарту библиографического описания документов ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

При сокращении слов пользуются ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” а также ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. Библиографические описания составляют de visu, непосредственно в соответствии с оригиналом издания.

Работы одного и того же автора приводят в хронологическом порядке. Работы одного и того же автора при наличии соавторов размещают в алфавитном порядке с учетом фамилии второго автора.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Авторские права и нормы научной публикации

Передавая материалы в редакцию, автор гарантирует наличие у него авторских прав на рукопись и дает согласие на публикацию текста и метаданных статьи (включая фамилии и инициалы авторов, места их работы и e-mail автора для корреспонденции) в журнале, что подразумевает распространение в печатном варианте, размещение электронных копий в сети Интернет на сайтах журнала и специализированных научных баз данных (в том числе наукометрических), перевод на иностранные языки. При этом за автором сохраняется право использования опубликованного в журнале материала в личных (научных, преподавательских) целях. Но воспроизведение опубликованной информации третьими лицами в любом виде, включая перевод на другие языки, возможно только с разрешения редакции с обязательным указанием полной библиографической ссылки. При представлении рукописи в редакцию авторы гарантируют отсутствие ранее опубликованных ими или представленных на рассмотрение в другие научные издания материалов с аналогичным содержанием. В противном случае авторы должны предоставить редактору информацию о предыдущей публикации данных, содержащихся в статье.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

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