



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

7' 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

№ 7 • 2015

Засновник:	Електронний
Національна Академія наук України	науковий фаховий журнал.
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі	Заснований у березні 2014 року.
Інституту геологічних наук	Виходить щоквартально.
НАН України	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

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

APPLICATION OF FILTERING EFFICIENCY PREDICTION TO HYPERSPECTRAL DATA

PRE-PROCESSING

V. V. Lukin, S. S. Krivenko, O. S. Rubel, S. K. Abramov, M. S. Zriakhov, M. L. Uss, B. Vozel, K. Chehdi 4

ИНТЕРКАЛИБРАЦИЯ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ТЕПЛОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

С. А. Станкевич, В. Е. Филиппович, Н. С. Лубский, А. Б. Крылова, С. Г. Крицук, О. В. Бровкина,
В. И. Горный, А. А. Тронин 12

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ І ГЕОЛОГО- ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ БУЧАЦЬКИХ БУРОВУГІЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ ДНІПРОВСЬКОГО БАСЕЙНУ НА ОСНОВІ НЕОТЕКТОНІЧНОГО АНАЛІЗУ

Н. В. Пазинич, Л. П. Ліщенко, О. М. Терemenko 22

МУЛЬТИДИСЦИПЛІНАРНИЙ АНАЛІЗ АЕРОКОСМІЧНОЇ І НАЗЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ОЦІНЦІ СТАНУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

О. Д. Федоровський, А. В. Хижняк, О. В. Томченко, Л. М. Зуб, Л. В. Підгородецька, Т. М. Дьяченко,
А. М. Шевченко, О. В. Власова, О. Я. Ходоровський, В. Г. Якимчук 27

СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ ЗА СЕЙСМІЧНИМИ ТА ГЕОТЕРМІЧНИМИ ДАНИМИ

С. Г. Семенова, С. М. Єсипович, А. Д. Бондаренко, О. А. Рибак 43

ГЕОЛОГІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНОГО КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ І ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАФТОГАЗОПЕРСПЕКТИВНИХ ЗОН НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ (НА ПРИКЛАДІ ПІВНІЧНО- ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ)

О. В. Седлєрова 47

ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ (ПІДТОПЛЕННЯ ТА ЗАТОПЛЕННЯ) НА ПРИКЛАДІ ОКРЕМИХ РАЙОНІВ М. КИЄВА

В. Є. Філіпович 58

Анонс. Розділи монографії

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ (РОЗДІЛ 5, ПІДРОЗДІЛ 5.1)

Ю. В. Костюченко, М. В. Ваколюк, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський 64

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ (РОЗДІЛ 5, ПІДРОЗДІЛ 5.2)

Ю. В. Костюченко, М. В. Ваколюк, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський 86

Правила та рекомендації для авторів (ua, ru) 103

Application of filtering efficiency prediction to hyperspectral data pre-processing

V. V. Lukin^{1*}, S. S. Krivenko¹, O. S. Rubel¹, S. K. Abramov¹, M. S. Zriakhov¹, M. L. Uss¹, B. Vozel², K. Chehdi²

¹ National Aerospace University, Kharkov, Ukraine

² University of Rennes 1, Lannion, France

Several approaches to prediction image denoising efficiency for DCT-based filter have been proposed recently. They allow predicting improvement of PSNR (IPSNR) and visual quality metrics as PSNR-HVS-M (IPHVS) for denoised images under condition of noise characteristics known or pre-estimated in advance. Here we apply the prediction approach to pre-processing ten sub-bands of Hyperion hyperspectral data. It is shown that there are sub-band images for which there is no necessity to carry out filtering. Meanwhile, there are sub-bands for which IPSNR reaches 5...9 dB and the use of denoising is expedient.

Keywords: remote sensing, DCT-based filter, efficiency prediction, hyperspectral data

© V. V. Lukin, S. S. Krivenko, O. S. Rubel, S. K. Abramov, M. S. Zriakhov, M. L. Uss, B. Vozel, K. Chehdi. 2015

Introduction

Airborne and spaceborne remote sensing (RS) systems are widely used for various applications nowadays [22]. Hyperspectral imagers are a relatively new tool of remote sensing [1, 3]. They potentially provide useful data for extracting different types of information on sensed terrains. However, there are, at least, two obstacles that complicate processing of hyperspectral images with the goals of classification, object detections and others. These obstacles are huge amount of data to be processed due to high resolution of modern hyperspectral systems and hundreds of used sub-bands [4] and noise present acquired images [1, 3, 23]. Therefore, it is desired to carry out image pre-processing (noise removal), at least, for those bands where noise intensity is high enough to sufficiently influence (in negative sense) solving the final tasks of hyperspectral data processing.

Note that there is no need to perform denoising for all sub-bands. There could be different reasons to avoid (skip) denoising. Firstly, noise intensity (or, more strictly, input PSNR) can be such that filtering practically does not remove noise [5, 6]. Secondly, image structure can be such (for example, highly textural) that denoising does not produce positive effect [5, 6, 12, 15, 23]. Then, it is expedient to have some rules and/or means to undertake a decision is it worth filtering a given sub-band image or no. Obviously, such a decision should be fast enough and reliable enough [3]. Meanwhile, it should take into account image properties (complexity) and noise properties (type, intensity, etc.).

There are certain pre-requisites for undertaking such decisions in automatic manner. Firstly, quite accurate methods for blind estimation of noise characteristics (including the cases of signal-dependent noise typical for hyperspectral images [1]) have been de-

signed recently [24, 25]. Their application to real-life hyperspectral acquired images by modern sensors has confirmed one more time [1, 24, 25] that signal-dependent noise component is usually dominant. Secondly, it has been shown that filtering efficiency for, at least, DCT-based filters [7, 8...+10, 11] can be predicted under condition of accurately estimated noise parameters [16–21] for such parameters characterizing filtering efficiency as improvement of peak signal-to-noise ratio (IPSNR) or improvement of visual quality metric PSNR-HVS-M [14] (IPHVS). To undertake a decision on using or avoiding filtering, these metrics can be used jointly or separately.

The goal of this paper is to apply the designed prediction methodology to real life data and to analyze the obtained results from practical viewpoint. For this purpose, we use a group of sub-bands of two Hyperion sensor hyperspectral images.

The paper structure is the following. Section 2 describes the conventional DCT-based filter and the designed methodologies of filtering efficiency prediction. Section 3 presents data on noise properties in hyperspectral data and the results of prediction method application to them. Finally, the conclusions and practical recommendations are presented and discussed.

DCT-based filtering for different noise types and methodologies of prediction

First of all, let us explain why below the DCT-based filtering is considered. One useful property is that it has low computational complexity [11, 15] — this is important since there are many sub-band images that have to be processed and it is possible [3] that this has to be done on-board where computational resources are limited. Another advantage is that, as it has been demonstrated in [12, 15], the DCT-based filter possesses denoising efficiency close to the best known filters (e.g. BM3D [10])

* e-mail: lukin@ai.kharkov.com

and to potential denoising bounds [4] for images corrupted by additive white Gaussian noise (AWGN):

$$I_{an}^{add}(i, j) = I_t(i, j) + N_G(\sigma), \quad (1)$$

where I_t denotes true image, I_{an}^{add} is noisy image, i and j are image pixel indices, N_G denotes zero mean AWGN with standard deviation of the noise σ .

Recall that DCT-based filtering relates to orthogonal transform based denoising techniques. In the case of AWGN, after direct 2D DCT in each block, the thresholding operation is performed as:

$$B_{out}^{add}(l, m) = \begin{cases} B_{in}^{add}(l, m) \leftarrow B_{in}^{add}(l, m) > \beta\sigma, \\ 0 \leftarrow B_{in}^{add}(l, m) \leq \beta\sigma, \end{cases} \quad (2)$$

where β is a thresholding parameter (the recommended value of which is equal to 2.7), l and m denote spatial frequency indices in an image 8×8 pixels block, B_{in}^{add} denote DCT coefficients of noisy image block, B_{out}^{add} are DCT coefficients after thresholding. After hard thresholding (2), inverse 2D DCT is applied to B_{out}^{add} . The most efficient (standard) DCT-based filter [12] works with full-overlapping of blocks where, at the final stage, data from overlapping blocks are collected for averaging the filtered values for a given pixel.

One more advantage of the DCT-based filtering is that it is applicable to different types of noise. If one deals with signal-dependent noise, the image-noise model is the following [13]:

$$I_{sdn}(i, j) = I_t(i, j) + N(i, j, I_t), \quad (3)$$

where $N(i, j, I_t)$ denotes signal-dependent noise that has zero mean but its probability density function and variance $\sigma^2(i, j, I_t)$, in general, depend upon I_t for a given pixel. We assume that $\sigma^2(i, j, I_t)$ is a priori known or accurately pre-estimated.

Then for signal-dependent spatially uncorrelated noise the thresholding is modified as [13]:

$$B_{out}^{sd}(l, m) = \begin{cases} B_{in}^{sd}(l, m) \leftarrow B_{in}^{sd}(l, m) > \beta\sigma(l, m), \\ 0 \leftarrow B_{in}^{sd}(l, m) \leq \beta\sigma(l, m), \end{cases} \quad (4)$$

where $\beta\sigma(l, m)$ denotes the estimate of local standard deviation of the signal-dependent noise. Note that since I_t in the dependence $\beta\sigma(l, m)$ is different for different pixels of a given block and is unknown for noisy data at hand, it is usually replaced by block mean (can be also replaced by block median).

All other operations including direct and inverse 2D DCT and final averaging of filtered values are the same as for the case of AWGN described above. The DCT-based filtering itself [13] and combined with other techniques [8] is one of the best denoising technique for signal-dependent noise case.

Let us recall a general principle of filtering efficiency prediction. An idea consists in the following. There is

some input parameter that is easily computed and that is able to characterize image complexity and noise intensity simultaneously. There is also some output parameter (metric) able to adequately characterize denoising efficiency. These two parameters are strictly connected between each other and this connection is described by an analytical dependence which is known to the moment prediction is needed. In other words, the dependence is obtained off-line (in advance). Then, prediction is carried out as follows. An input parameter is calculated, its value is inserted into the dependence as its argument and the output parameter is calculated. Then this put parameter (predicted value) is used for deciding is it worth filtering or not or for some other purpose (e.g., for setting the filter parameters).

Then, the main goal of preparatory work is to obtain an analytically described dependence of an output parameter on an input parameter. The output parameter could be, e.g., IPSNR (i.e., the difference between the output and input PSNR, expressed in dB) and the input parameter could be, e.g., the probability $P_{2\sigma}$ [16, 18–21]. This is mean probability that absolute values of DCT coefficients do not exceed $2\beta\sigma(l, m)$ in the considered blocks.

The aforementioned analytical dependence can be obtained in different ways. The simplest one is to use scatter-plots and curve fitting into them. For the scatter-plot points, their arguments are the values of input parameter and vertical axis corresponds to output values. Each scatter-plot point corresponds to one test image with one set of signal dependent noise parameters. The test image is artificially noised with determining input value of a considered metric (e.g., PSNR) and then filtered with determining output value (e.g., output PSNR and, then, IPSNR). We do not go deeply into the questions of how to select test images, what should be sets of parameters of signal-dependent noise, etc. Some details are presented in papers [16, 18–21]. We would like to mention only the following. The number of test images should be large enough (more than ten, desirably about 30...40) and their complexity has to be very different. The cases of prevailing signal-independent and signal-dependent components should be considered and noise intensity has to vary in wide limits. Then, the scatter-plot looks as shown in Fig. 1 and it is possible to fit a curve into it and to analyze accuracy of such fitting. The fitting quality (and, respectively, quality of prediction) can be characterized by different statistical criteria [2]. The most popular of them is goodness of fit (R^2) that should be as close to unity as possible and root mean square error (RMSE) that should be as close to zero as possible.

It is clear that different quality criteria can be predicted with different accuracy. For example, IPSNR is usually predicted more accurately than IPHVS (the latter is also expressed in dB). Prediction also depends upon input parameter, output parameter, used function

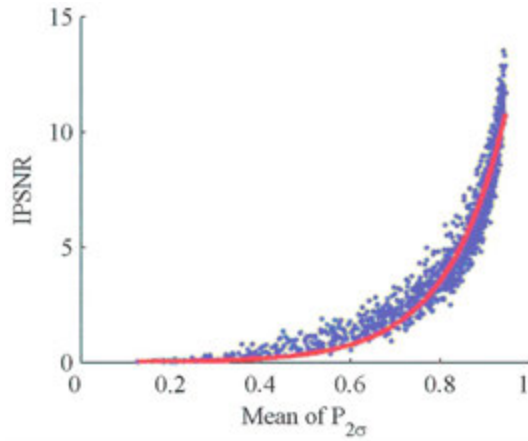


Fig. 1. 1D scatterplots of IPSNR for the DCT-based denoising vs mean of local estimates of $P_{0.5\sigma}$

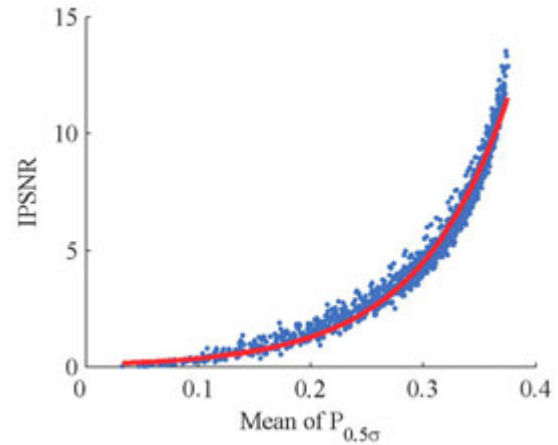


Fig. 2. 1D scatterplots of IPSNR for the DCT-based denoising vs mean of local estimates of $P_{0.5\sigma}$

(power, exponential, polynomial) and the number of its free parameters. There are also ways to improve prediction using two or more input parameters [20, 21] and/or optimizing them. However, even for the simplest prediction method (based on a curve fitted into a 1D scatter-plot as in Fig. 1) IPSNR can be predicted with R^2 about 0.95 and RMSE about 0.6...1.0 [20]. This can be acceptable for practical applications.

It is also important that it is enough to estimate $P_{2\sigma}$ locally in non-overlapping or randomly chosen blocks and/or to employ, at least, 300...500 blocks. Due to this, prediction is by about two orders faster than the standard DCT-based denoising that, recall, employs two DCTs (direct and inverse) in fully overlapping blocks [11].

If there is only one input parameter, then it is reasonable to apply the probability $P_{0.5\sigma}$ that absolute values of DCT coefficients do not exceed $0.5\sigma(l, m)$ [20]. The scatter-plot is presented in Fig. 2. Analysis of both scatter-plots and fitted curves shows that there are strict monotonous dependences between output and input parameters that allow undertaking decisions based on predicted data. Suppose that IPSNR should be larger than 1 dB to consider filtering useful. Then, roughly saying, it is possible to skip filtering if $P_{2\sigma}$ is less than 0.6 or $P_{0.5\sigma}$ is less than 0.2.

In both cases (Figures 1 and 2), as prediction model, the exponent fitting function was found as the most suitable:

$$Metric_{pred} = a \exp(b \bar{P}_{\sigma}), \quad (5)$$

where $Metric_{pred}$ is a predicted value of a considered metric of denoising efficiency, a and b are coefficients of fitting function, $a = 0.5$ or 2.0 . In particular, for the fitted curve in Fig. 1, $a = 0.00797$ and $b = 7.62$ whilst for the curve in Fig. 2 the parameters are $a = 0.11$ and $b = 12.53$. Similarly, IPHVS can be predicted but with less accuracy (larger RMSE and smaller R^2 [20, 21]). Thus, we have methodology of prediction and the task now is to verify it for real life data.

Application of Prediction to Real-Life Data

First of all, it is needed to have some imagination on properties of noise in hyperspectral images. For the model (3), one has for n -th sub-band

$$\sigma_{ij}^2(n) = \sigma_0^2(n) + k(n)I_t(i, j, n), \quad (6)$$

where $\sigma_0^2(n)$ denotes the signal-independent (SI) noise variance and $k(n)$ is the signal-dependent (SD) noise parameter. Both parameters $\sigma_0^2(n)$ and $k(n)$ are often assumed to be non-negative. This assumption is based on physical properties and it can be used as certain restrictions in methods of noise parameters estimation (negative estimates of the considered parameters can be assigned zero values).

Fig. 3 presents the estimates of these parameters obtained by the method [24] for datasets of Hyperion data (taken from <http://eros.usgs.gov/>). There are two groups of sub-bands with indices 1...12, 62...77 and 231...240 that are not used in analysis due to very bad quality of images in them. Because of this, noise parameter estimates for them are not presented in plots.

Estimate analysis shows the following. First, for all three datasets the estimates' dependences on sub-band index behave similarly. Second, there is more intensive noise (both larger estimates of $\sigma_0^2(n)$ and $k(n)$ for images at the edges of sensor ranges, e.g., for sub-bands with indices 13...15 and 59...61. Noise is seen well for visualized images for these sub-bands. Meanwhile, the noise is one-two order less intensive in the middle of this range. In fact, noise is of such intensity (more exactly, PSNR is as high) that noise is practically not seen in visualized sub-band images with indices about 35...40. Third, it is possible to evaluate contribution of SD noise component by calculating equivalent noise variance for it as

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{eqSD}^2(n) &= \sum_{i=1}^{I_{lm}} \sum_{j=1}^{J_{lm}} k(n) I_t(i, j, n) / (I_{lm} J_{lm}) \approx \\ &\approx \sum_{i=1}^{I_{lm}} \sum_{j=1}^{J_{lm}} \hat{k}(n) I^n(i, j, n) / (I_{lm} J_{lm}) = \hat{k}(n) I_{mean}(n) \end{aligned} \quad (7)$$

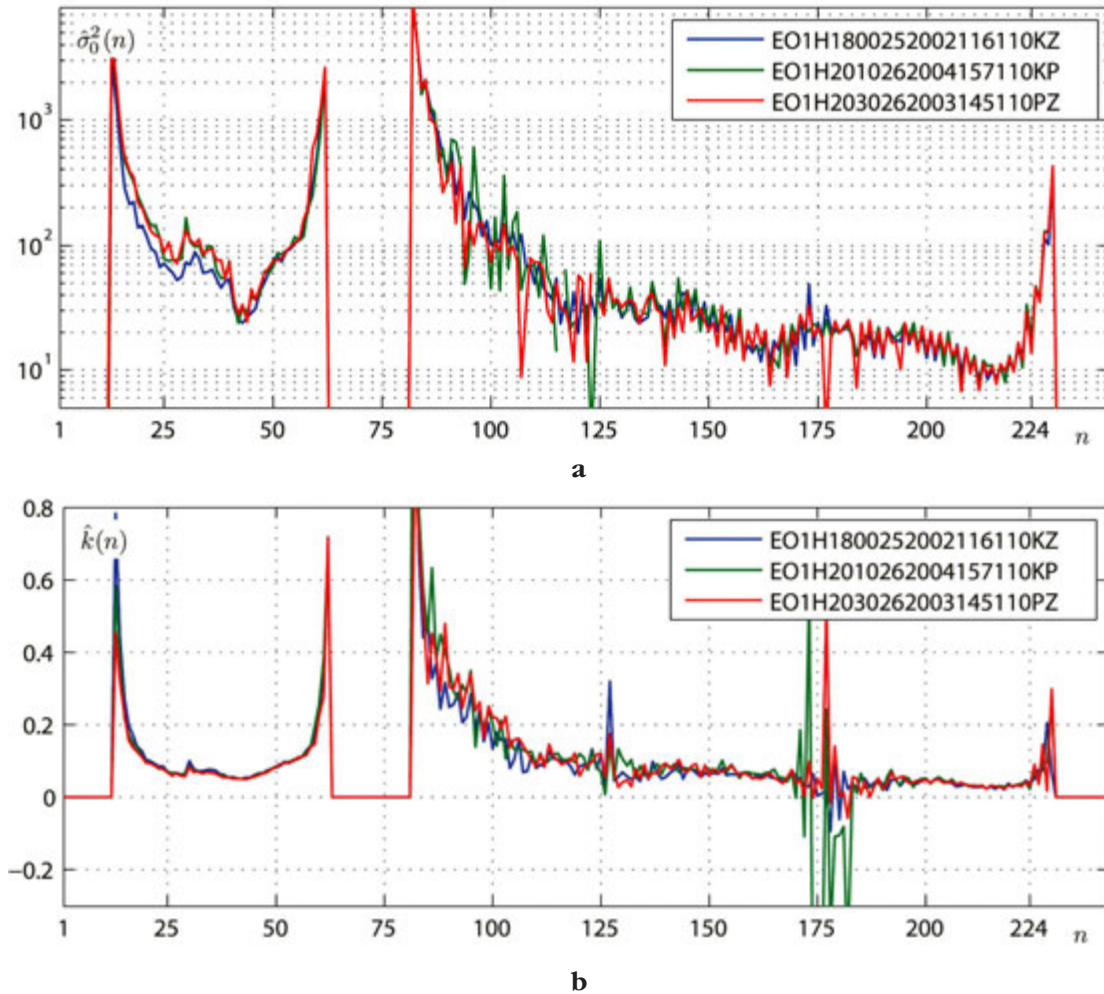


Fig. 3. The estimates $\sigma_0^2(n)$ and $\hat{k}(n)$ for sub-bands of three sets of Hyperion data

where $I_{mean}(n)$ defines image mean for an n -th sub-band. Then this equivalent variance can be compared to $\sigma_0^2(n)$. Such comparisons were performed in [25] and it has been shown that for most sub-bands $\hat{\sigma}_{egsd}^2(n)$ is of the same order as $\sigma_0^2(n)$ or larger. This means that SD character of the noise should be taken into consideration in processing and analysis of hyperspectral data. The exceptions could be several sub-bands (see the plots in Fig. 3) where the estimates $\hat{k}(n)$ are negative. This mostly happens due to imperfectness of the estimation method and for sub-bands with very high PSNR.

Having the estimates of signal-dependent noise parameters and assuming their high accuracy, it becomes possible to predict filtering efficiency. Since we do not have noise-free images, it is impossible to evaluate how accurate prediction is. But it is possible to compare the prediction results for different input parameters and to analyze the observed tendencies.

In our analysis, we have considered the sub-bands with indices 13...22. As it follows from analysis of the plots in Fig. 3, there is a tendency to noise intensity reduction for them. This tendency is supported by numerical data presented in Tables 1 and 2. Meanwhile, dynamic range for these images remains practically the

same. Thus, there is the tendency to increasing of input PSNR. Due to this, the largest values of $P_{2\sigma}$ are observed for the 13-th sub-band (recall that $P_{2\sigma}$ is large (approaches to the maximally possible value of 0.95) for simple structure images and high intensity noise).

According to prediction dependence (fitted approximating curve) in Fig. 1, IPSNR and IPSNR-HVS-M increase if $P_{2\sigma}$ is larger. Because of this, the maximal expected positive effect of filtering is predicted for 13-th sub-band image. This effect is quite large – predicted IPSNR (based on $P_{2\sigma}$) reaches 5.6 dB for the first dataset and 9.06 dB for the second dataset. Such improvement should be obviously seen if input and output images are compared visually. This is possible to do. Fig. 4 presents original (noisy) and output (filtered) images in 13-th sub-band of the dataset EO1H1800252002116110KZ. Whilst noise is visible in original image (especially in homogeneous image regions), it is effectively suppressed in output image alongside with good preservation of important details and edges.

Meanwhile, there are also many sub-bands for which IPSNR predicted on basis of $P_{2\sigma}$ is of the order of 1 dB or less. Simultaneously, predicted values of IPHVS (see data in the rightmost columns in Tables 1 and 2) are even

Table 1.

Noise parameters and prediction results for sub-band images with indices 13...22 of Hyperion sensor dataset EO1H2010262004157110KP

Subband Index n	$\sigma(n)$	$k(n)$	Dynamic range	$P_{2\sigma}$	Predicted IPSNR based on $P_{2\sigma}$	Predicted IPSNR based on $P_{2.7\sigma}$	Pred. IPSNR based on $P_{0.5\sigma}$	Pred. IPHVS based on $P_{2\sigma}$
13	63.61	0.78	4166.00	0.85	5.60	4.72	5.90	3.45
14	41.54	0.62	4098.00	0.78	3.84	3.31	4.09	2.19
15	27.38	0.49	4316.00	0.71	2.42	2.08	2.65	1.25
16	20.01	0.42	4411.00	0.64	1.70	1.44	1.92	0.82
17	17.45	0.39	4418.00	0.63	1.56	1.32	1.77	0.74
18	16.64	0.37	4615.00	0.62	1.44	1.23	1.64	0.67
19	14.09	0.34	4741.00	0.59	1.27	1.07	1.47	0.57
20	13.29	0.31	4885.00	0.57	1.10	0.91	1.30	0.48
21	12.05	0.31	5007.00	0.54	0.96	0.78	1.15	0.41
22	10.98	0.30	4872.00	0.52	0.83	0.65	1.00	0.34

Table 2.

Noise parameters and prediction results for sub-band images with indices 13...22 of Hyperion sensor dataset EO1H1800252002116110KZ

Subband Index n	$\sigma(n)$	$k(n)$	Dynamic range	$P_{2\sigma}$	Predicted IPSNR based on $P_{2\sigma}$	Predicted IPSNR based on $P_{2.7\sigma}$	Pred. IPSNR based on $P_{0.5\sigma}$	Pred. IPHVS based on $P_{2\sigma}$
13	54.44	0.78	1793.00	0.93	9.06	7.33	9.43	6.17
14	36.39	0.45	1835.00	0.88	6.85	5.80	7.20	4.40
15	23.74	0.27	1894.00	0.81	4.35	3.86	4.68	2.54
16	16.85	0.20	1985.00	0.73	2.80	2.53	3.11	1.49
17	14.48	0.17	1943.00	0.70	2.41	2.16	2.71	1.24
18	14.83	0.14	2118.00	0.67	2.02	1.80	2.30	1.01
19	11.84	0.13	2190.00	0.63	1.58	1.38	1.84	0.75
20	11.91	0.10	2265.00	0.60	1.33	1.13	1.57	0.61
21	10.90	0.10	2321.00	0.58	1.14	0.94	1.35	0.50
22	9.77	0.09	2226.00	0.55	1.00	0.80	1.15	0.43

less than 1 dB. This means that improvements according to the considered metrics due to filtering are negligible.

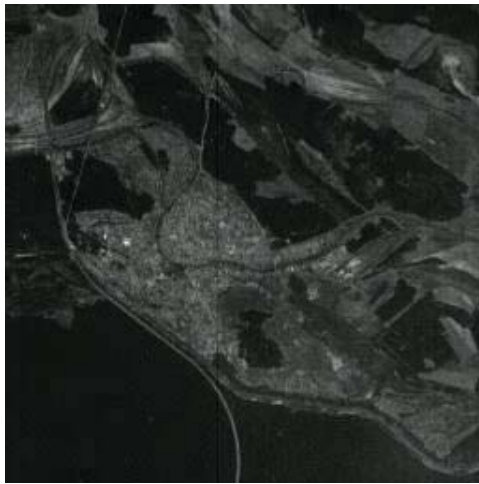
This is seen well in Fig. 5 where input and output images for 22-th sub-band are represented. Noise in the original image can be hardly noticed and the processed (filtered) image looks practically the same as input one. Thus, there is no need in filtering this image.

Three other observations that follow from analysis of data in Tables 1 and 2 are the following. First, all three predictions (based on $P_{2\sigma}$, $P_{2.7\sigma}$ [16], and $P_{0.5\sigma}$) are quite close. This means that, in fact, all three input parameters can be used in practice. Second, predicted IPHVS are always smaller than IPSNR (both are expressed in dB and, thus, can be compared). This is typical for denoising where IPSNR of about 1...3 dB does not guarantee improvement of visual quality. Third, improvement depends upon image complexity. The considered fragment of the dataset EO1H1800252002116110KZ (Fig. 4) is less complex than the analyzed fragment of the other dataset because there are quite large homogeneous image regions in it. The analyzed fragment for the dataset EO1H2010262004157110KP is represented in Fig. 6 where Fig. 6a shows original image in 13-th sub-band. It has smaller homogeneous regions and more edges and details. Due to this, noise is less visible and can be noticed mainly in lighter color (higher mean intensity) parts of the image.

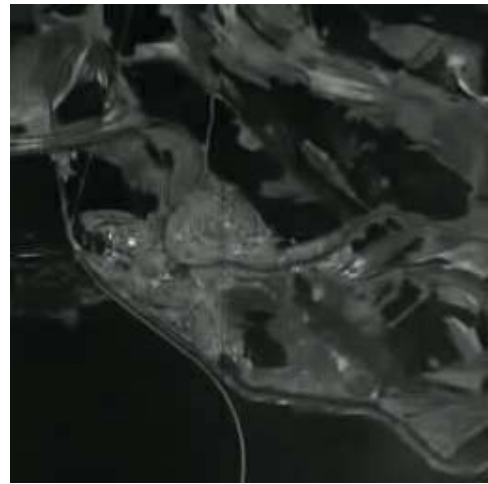
The filtered image is given in Fig. 6b and it is seen that noise is suppressed whilst useful information is preserved. Visual analysis of input and output images for other sub-bands has been carried out as well. Starting from n about 18 it becomes difficult to find differences. This means that, on one hand, filtering does not introduce distortions and this is valuable advantage of the DCT-based filter (e.g., the standard median filter introduces visible distortions in such cases). On the other hand, this means that there is no need to apply filtering and it can be skipped. This can accelerate processing of hyperspectral data where, in fact, filtering can be skipped for about 70...80% of sub-bands. This can be especially important for on-board processing of data. Suppose that the rule for avoiding filtering is the following: skip denoising of a given sub-band image if $P_{2\sigma} > 0.6$ (see Fig. 1). Then, there is no need to perform image filtering for sub-bands with $n > 18$ of the subset EO1H2010262004157110KP and $n > 20$ for the subset EO1H1800252002116110KZ (see data in Tables).

Conclusions

The method of denoising efficiency prediction is described and tested for real-life multichannel images corrupted by signal-dependent noise. It is shown that the metrics IPSNR and IPSNR-HVS-M can be predicted rather well.

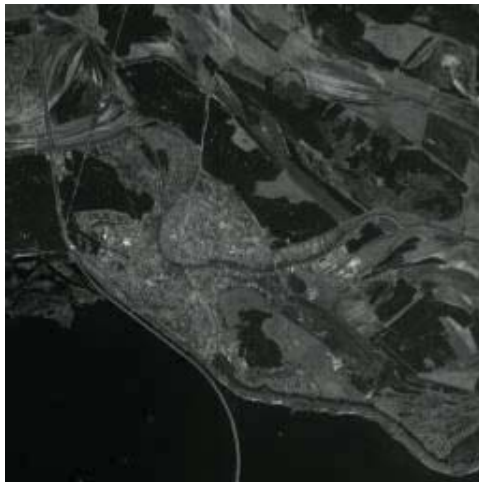


a

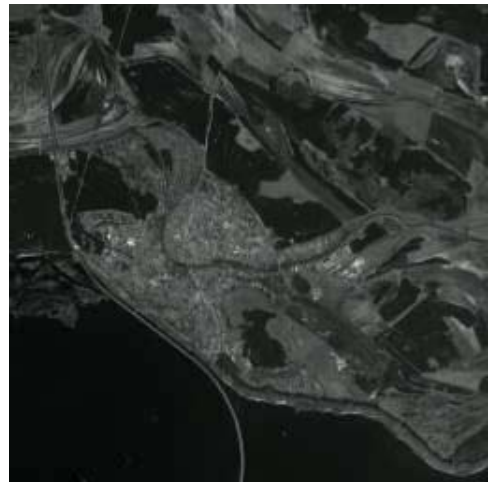


b

Fig. 4. Input (a) and output (b) images in the 13-th sub-band of Hyperion data



a



b

Fig. 5. Input (a) and output (b) images in the 22-th sub-band of Hyperion data



a



b

Fig. 6. Input (a) and output (b) images in the 13-th sub-band of Hyperion data

Based on such prediction, it is possible to undertake decisions on applying image denoising to a given sub-band images or skipping this operation if, supposedly, it is practically useless. It is demonstrated that there are quite many sub-band images in hyperspectral data for which the use of denoising is expedient since considerable improvement of image quality can be provided. The corresponding illustrations are given.

References

- Acito N. Signal-dependent noise modeling and model parameter estimation in hyperspectral images / N. Acito, M. Diani, G. Corsini // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. — 2011. — Vol. 49. — No 8. — P. 2957–2971.
- An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models / C. Cameron, A. Windmeijer, A. G. Frank, H. Gramajo, D. E. Cane, C. Khosla // *Journal of Econometrics*. — 1997. — Vol. 77. — No 2. — P. 329–342.
- Approaches to Automatic Data Processing in Hyperspectral Remote Sensing / V. Lukin, S. Abramov, N. Ponomarenko, S. Krivenko, M. Uss, B. Vozel, K. Chehdi, K. Egiazarian, J. Astola // *Telecommunications and Radio Engineering*. — 2014. — Vol. 73. — No 13. P. 1125–1139.
- Christophe E. Hyperspectral Data Compression Tradeoff / E. Christophe // *Optical Remote Sensing. Advances in Signal Processing and Exploitation Techniques*, Springer. — 2011. — Vol. 8. — P. 9–29.
- Chatterjee P. Practical Bounds on Image Denoising: From Estimation to Information / P. Chatterjee, P. Milanfar // *IEEE Transactions on Image Processing*. — May 2011. — Vol. 20. — No 5. — P. 1221–1233.
- Chatterjee P. Is Denoising Dead / P. Chatterjee, P. Milanfar // *IEEE Transactions on Image Processing*. — 2010. — Vol. 19. — No 4. — P. 895–911.
- Denoising of single-look SAR images based on variance stabilization and non-local filters / M. Makitalo, A. Foi, D. Fevrale, V. Lukin // *Proceedings of MMET*. — 2010. — 4 p.
- Efficiency Analysis of Combined Despeckling of Single-Look SAR Images / R. A. Kozhemiakin, S. S. Krivenko, V. V. Lukin, R. C. P. Marques, F. N. S. de Medeiros, B. Vozel // *Aerospace Engineering and Technology*. — 2013. — Vol. 5. — No 102. — P. 102–111.
- Exploiting patch similarity for SAR image processing: the nonlocal paradigm / C.-A. Deledalle, L. Denis, G. Poggi, F. Tupin, L. Verdoliva // *IEEE Signal Processing Magazine, Recent Advances in Synthetic Aperture Radar Imaging*. — 2014. — 8 p.
- Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering / K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian // *IEEE Transactions on Image Processing*. — 2007. — Vol. 16. — No 8. — P. 2080–2095.
- Image filtering based on discrete cosine transform / V. Lukin, R. Oktem, N. Ponomarenko, K. Egiazarian // *Telecommunications and Radio Engineering*. — 2007. — Vol. 66. — No 18. — P. 1685–1701.
- Image Filtering: Potential Efficiency and Current Problems / V. Lukin, S. Abramov, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings of ICASSP, Prague*. — May 2011. — P. 1433–1436.
- Local Transform-based Denoising for Radar Image Processing / Egiazarian K.O., Melnik V.P., Lukin V.V., Astola J.T. // *Proceedings of IS&T/SPIE International Conference on Nonlinear Image Processing and Pattern Analysis XII, San Jose, CA, USA*. — 2011. — SPIE Vol. 4304. — P. 170–178.
- On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin // *Proceedings of the Third Int. Workshop on Video Processing and Quality Metrics, USA*. — 2007. — Vol. 3. — 4 p.
- Pogrebnyak O. Wiener discrete cosine transform-based image filtering / O. Pogrebnyak, V. Lukin // *SPIE: Journal of Electronic Imaging*. — 2012. — Vol. 21. — Is. 4. — 15 p.
- Prediction of DCT-based Denoising Efficiency for Images Corrupted by Signal-Dependent Noise / S. Krivenko, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // *Proceedings of IEEE 34th International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology, Kiev, Ukraine*. — 2014. — P. 254–258.
- Prediction of Filtering Efficiency for DCT-based Image Denoising / S. Abramov, S. Krivenko, A. Roenko, V. Lukin, I. Djurovic, M. Chobanu // *Proceedings of MECO, Budva, Montenegro*. — 2013. — P. 97–100.
- Rubel O. S. Prediction of Despeckling Efficiency of DCT-based filters Applied to SAR Images / O. S. Rubel, V. V. Lukin, F. S. de Medeiros // *Proceedings of DCOSS, Fortaleza, Brazil*. — 2015. — P. 159–168.
- Rubel A. Efficiency of DCT-based denoising techniques applied to texture images / A. Rubel, V. Lukin, O. Pogrebnyak // *Proceedings of MCPR, Cancun, Mexico*. — 2014. — P. 261–270.
- Rubel O. An Improved Prediction of DCT-Based Filters Efficiency Using Regression Analysis / O. Rubel, V. Lukin // *Information and Telecommunication Sciences, Kiev, Ukraine*. — 2014. — Vol. 5. — No 1. — P. 30–41.
- Rubel A. A Neural Network Based Predictor of Filtering Efficiency for Image Enhancement / A. Rubel, A. Naumenko, V. Lukin // *Proceedings of MRRS, Kiev, Ukraine*. — 2014. — P. 14–17.
- Schowengerdt R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing: Third edition / R. A. Schowengerdt // *Academic Press, San Diego, CA*. — 2007. — 515 p.
- Zhong P. Multiple-Spectral-Band CRFs for Denoising Junk Bands of Hyperspectral Imagery / P. Zhong, R. Wang // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. — 2013. — Vol. 51. — No 4. — P. 2260–2275.
- Local signal-dependent noise variance estimation from hyperspectral textural images / M. Uss, B. Vozel, V. Lukin, K. Chehdi // *IEEE J. Sel. Top. Signal Process.* — 2011. — Vol. 5. — No. 3. — P. 469–486.
- On Noise Properties in Hyperspectral Images / S. Abramov, M. Uss, V. Abramova, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // *Proceedings of IGARSS, Milan, Italy*. — 2015. — 4 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ К ОБРАБОТКЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В. В. Лукин, С. С. Кривенко, А. С. Рубель, С. К. Абрамов, М. С. Зряхов, М. Л. Усс, Б. Возель, К. Шеди

Недавно были предложены несколько подходов к прогнозированию эффективности ДКП-фильтров. Они позволяют прогнозировать повышение ПОСШ (IPSNR) и улучшение метрики визуального качества PSNR-HVS-M (IPHVS) для обработанных изображений при условии, что характеристики помех известны или предварительно оценены. В статье прогнозирование применено к предварительной обработке десяти соседних каналов гиперспектральных данных сенсора Гиперион. Показано, что есть каналы, для которых не имеет смысла применять фильтрацию. Вместе с тем, есть и каналы, для которых IPSNR достигает 5...9 дБ и, соответственно, применение фильтрации целесообразно.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, ДКП-фильтр, прогнозирование эффективности, гиперспектральные данные

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ДО ОБРОБКИ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ ДАНИХ

В. В. Лукін, С. С. Кривенко, О. С. Рубель, С. К. Абрамов, М. С. Зряхов, М. Л. Усс, Б. Возель, К. Шеді

Нещодавно було запропоновано декілька підходів до прогнозування ефективності ДКП-фільтрів. Вони дозволяють прогнозувати збільшення РВСПШ (IPSNR) та покращення метрики візуальної якості PSNR-HVS-M (IPHVS) для оброблених зображень за умови, що характеристики завад є відомим або попередньо оцінені. В статті прогнозування застосовано до попередньої обробки десяти каналів гіперспектральних даних сенсора Гіперіон. Показано, що є канали, для яких немає сенсу застосовувати фільтрацію. Втім, є й канали, для яких IPSNR сягає 5...9 дБ і, відповідно, застосування фільтрації є доцільним.

Ключові слова: дистанційне зондування, ДКП-фільтр, прогнозування ефективності, гіперспектральні дані

УДК 711.142:528.8.041.3

Интеркалибрация методов восстановления термодинамической температуры поверхности урбанизированной территории по материалам тепловой космической съёмки

С. А. Станкевич^{1*}, В. Е. Филиппович¹, Н. С. Лубский¹, А. Б. Крылова¹, С. Г. Крицук², О. В. Бровкина², В. И. Горный², А. А. Тронин²

¹ ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, Киев, Украина

² ФГБУН “Научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук”, Санкт-Петербург, Российская Федерация

В рамках Российско-Украинского международного проекта “Исследование влияния урбанизации на микроклимат городов (по материалам тепловых аэрокосмических съёмок)”, поддержанного РФФИ (№14-05-90416) и НАН Украины (№10-05-14) двумя научными коллективами проведена независимая сравнительная оценка (интеркалибрация) двух методов восстановления термодинамической температуры земной поверхности по материалам тепловых космических съёмок Киева, выполненных системами низкого — EOS/MODIS и среднего — Landsat-8/TIRS пространственного разрешения. Исследовались алгоритмы восстановления термодинамической температуры и коэффициентов теплового излучения, построенные как на использовании регрессионных зависимостей, так и наземных заверочных измерений. Установленное расхождение определения температуры (среднее отклонение оценено как -0.93°C) является вполне приемлемым для количественного температурного мониторинга городской среды по материалам тепловой инфракрасной космической съёмки.

Ключевые слова: спутниковая съёмка, городская территория, земная поверхность, инфракрасное излучение, восстановление термодинамической температуры, коэффициент теплового излучения, интеркалибрация

© С. А. Станкевич, В. Е. Филиппович, Н. С. Лубский, А. Б. Крылова, С. Г. Крицук, О. В. Бровкина, В. И. Горный, А. А. Тронин. 2015

Аэрокосмическая съёмка в дальнем инфракрасном (8–14 мкм) диапазоне важна при решении широкого круга задач охраны окружающей среды и поисков полезных ископаемых [10]. К одной из актуальных таких задач можно отнести мониторинг тепловых режимов и теплопотерь городов и промышленных территорий.

В настоящее время системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) установленные на космических аппаратах серий EOS и Landsat обеспечивают оперативный долговременный мониторинг земной поверхности в дальнем инфракрасном диапазоне, что позволяет картировать температуру земной поверхности (ТЗП), в том числе и урбанизированных территорий и анализировать её пространственно-временные изменения [13]. При этом, если для восстановления ТЗП по материалам тепловых космических съёмок низкого разрешения, выполненных спутниками серии EOS используется, в основном, метод разделенных окон (split window method) [6], то для восстановления ТЗП по материалам съёмки спутниками серии Landsat ТМ, имеющих только один инфракрасный (ИК) тепловой канал, используются более сложные подходы. Только в последние годы, в связи с запуском спут-

ника Landsat-8 появилась возможность использовать метод разделенных окон и для тепловых материалов среднего разрешения. При этом важнейшим показателем являются погрешности восстановления ТЗП по результатам дистанционных измерений. Эти погрешности возникают из-за различных неопределённостей, например — параметров атмосферы, недоопределённости системы уравнений, используемых для восстановления ТЗП [1]. Известен ряд алгоритмов восстановления ТЗП по результатам дистанционных тепловых аэрокосмических съёмок спутниками серии Landsat [18], обладающих как достоинствами, так и определёнными недостатками. Актуальной задачей является сравнение погрешностей алгоритмов, применяемых при восстановлении ТЗП по результатам космической съёмки тепловыми каналами спутников серии Landsat или, иными словами, интеркалибрация. Поэтому целью настоящей статьи является интеркалибрация двух различных алгоритмов восстановления ТЗП по результатам ИК съёмок спутников серии Landsat, используемых российскими и украинскими участниками международного проекта “Исследование влияния урбанизации на микроклимат городов (по материалам тепловых аэрокосмических съёмок)”, поддержанного РФФИ (№ 14-05-90416) и НАН Украины (№ 10-05-14).

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

Методы восстановления термодинамической ТЗП по материалам тепловых космических съёмок

Восстановление термодинамической температуры земной поверхности по многоспектральным изображениям спутников Landsat с использованием библиотечных значений коэффициентов теплового излучения различных типов земной поверхности

Практические дистанционные измерения ТЗП выполняются в условиях существенной неоднородности свойств, как земных покрытий, так и слоя атмосферы. Поэтому значения температуры будут отличаться для разных участков инфракрасного изображения, даже если они относятся к земным покрытиям, находящимся в близких физических условиях.

Алгоритмы дистанционного определения температуры основываются на законе теплового излучения Планка:

$$L(\lambda, T) = e(\lambda) M(\lambda, T) = \frac{\varepsilon(\lambda) c_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1}, \quad (1)$$

где $L(\lambda, T)$ — спектральная плотность энергетической яркости земной поверхности, $\varepsilon(\lambda)$ — спектральный коэффициент теплового излучения, $M(\lambda, T)$ — спектральная плотность энергетической яркости абсолютно чёрного тела, $c_1 = 2hc^2 = 1.191 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$

и $c_2 = \frac{hc}{k} = 1.439 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$ — первая и вторая постоянные закона Планка, $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ — постоянная Планка, $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ — скорость света в вакууме, $k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ — постоянная Больцмана, λ — длина волны электромагнитного излучения [17].

Температура может быть найдена обращением (1):

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln\left(\frac{\varepsilon(\lambda) c_1}{\lambda^5 L} + 1\right)}. \quad (2)$$

Сложность дистанционного определения термодинамической температуры земной поверхности заключается в необходимости учета поглощения инфракрасного излучения в атмосфере и в разделении термодинамической температуры и коэффициента теплового излучения. Обе задачи нуждаются либо в знании непосредственно коэффициента теплового излучения наблюдаемой земной поверхности, либо каких-то других её характеристик, позволяющих его оценить [23]. Учет влияния атмосферы может быть реализован даже для одного спектрального диапазона, разделение же термодинамической температуры и коэффициента излучения

является сложной проблемой и требует применения специальных подходов [27].

Относительная неопределённость оценки температуры (2) пропорциональна неопределённости спектрального коэффициента теплового излучения [12]

$$\frac{\Delta T}{T} = - \frac{\lambda T}{c_2} \frac{\Delta \varepsilon(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}, \quad (3)$$

что вынуждает, прежде всего, обеспечить точное определение именно его.

Таким образом, основной проблемой при определении температуры земной поверхности по спутниковым изображениям дальнего инфракрасного диапазона выступает неопределённость коэффициента теплового излучения земной поверхности. Данная неопределённость делает задачу расчёта термодинамической температуры математически некорректной: даже в случае многоспектральной инфракрасной съёмки количество неизвестных в уравнениях радиационного переноса всегда на единицу превышает количество уравнений в системе [14].

Наиболее точным и достоверным считается определение коэффициента теплового излучения на основе классификации покрытий земной поверхности и привлечения соответствующих спектральных библиотек [22, 6, 19]. Значение коэффициента теплового излучения зависит от расположения диапазонов спектрометра, и может быть оценено с использованием соответствующих спектральных библиотек. В частности, для 27 тестовых участков на территории Киева (рис. 1) при помощи профессионального полевого пирометра были экспериментально измерены значения широкополосных коэффициентов теплового излучения типовых земных покрытий (табл. 1).

Отдельную проблему составляет определение коэффициента теплового излучения разреженного растительного покрова. Обычно, его оценка выполняется на основе данных о вегетационном индексе (NDVI) [26]. Для этого рассчитывается проективное покрытие поверхности растительностью — P_v :

$$P_v = \left[\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_0}{\text{NDVI}_1 - \text{NDVI}_0} \right]^2, \quad (4)$$

где NDVI — нормализованный дифференциальный вегетационный индекс, доли единицы; NDVI_0 — нормализованный дифференциальный вегетационный индекс почвы, лишенной растительности; NDVI_1 — нормализованный дифференциальный вегетационный индекс полного покрытия территории растительностью.

Для участков поверхности покрытых растительностью спектральный коэффициент теплового излучения описывается соотношением [21]

$$\varepsilon(\lambda) = \varepsilon_1(\lambda) P_v + \varepsilon_0(\lambda) (1 - P_v) + \Delta \varepsilon(\lambda), \quad (5)$$

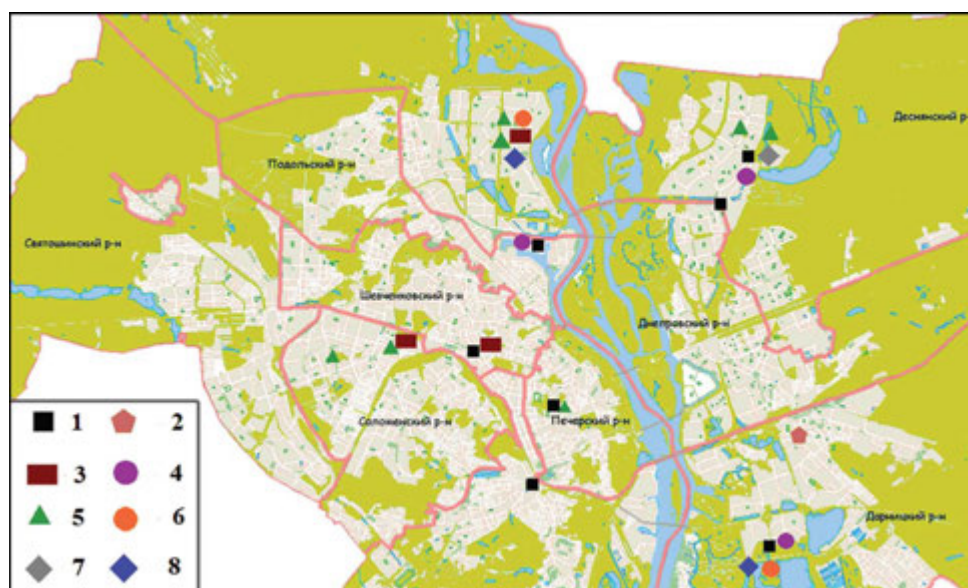


Рис. 1. Тестовые участки пирометрических измерений на территории Киева.

1 — асфальт; 2 — почва; 3 — камень; 4 — прорезиненное покрытие; 5 — трава; 6 — песок; 7 — сталь; 8 — водные поверхности

Таблица 1.

Измеренные коэффициенты теплового излучения типовых земных покрытий тестовых участков на территории Киева (нумерация типов земных покрытий соответствует рис. 1)

№	Тип земного покрытия	Количество участков	Коэффициент теплового излучения
1	Асфальт	8	093
2	Трава	7	096
3	Почва	1	090
4	Песок	2	093
5	Камень	3	085
6	Сталь	1	085
7	Прорезиненное покрытие	3	088
8	Вода	2	093

где $\varepsilon_1(\lambda)$ и $\varepsilon_0(\lambda)$ — спектральные коэффициенты теплового излучения растительности и открытой поверхности соответственно, $\Delta\varepsilon(\lambda)$ — поправка, обусловленная неровностями местности. При работе с мелкомасштабными инфракрасными изображениями могут использоваться значения $\varepsilon_1(\lambda) \approx 0.985$ и $\Delta\varepsilon(\lambda) \approx 0.005$, а $\varepsilon_0(\lambda)$ зависит от типа нерастительного земного покрытия [9].

Если коэффициент теплового излучения ε определен, тогда температуру земной поверхности можно рассчитать по модифицированному соотношению (2) [11]:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_0} + 1\right)}, \quad (6)$$

где L_0 — спектральная плотность энергетической яркости на земной поверхности, полученная в результате атмосферной коррекции, K_1 и K_2 — аппаратно зависимые константы сенсора. Их значения для спутниковых систем семейства Landsat приведены в табл. 2. L_0 оценивается по формуле:

$$L_0 = \frac{L - L^\uparrow}{\varepsilon\tau} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} L^\downarrow, \quad (7)$$

где L — спектральная плотность энергетической яркости на апертуре сенсора, $L^\uparrow$ и $L^\downarrow$ — спектральная плотность энергетической яркости восходящего и нисходящего излучения, τ — коэффициент пропускания атмосферы.

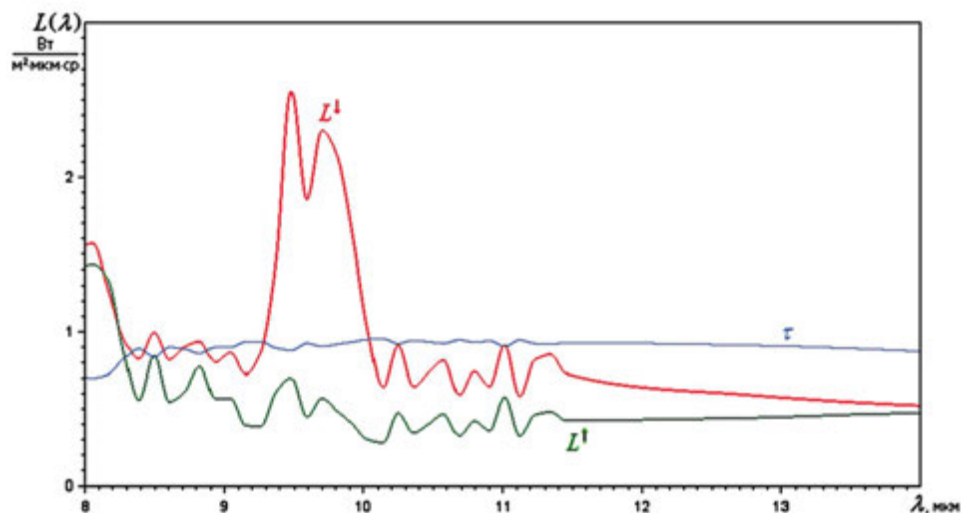
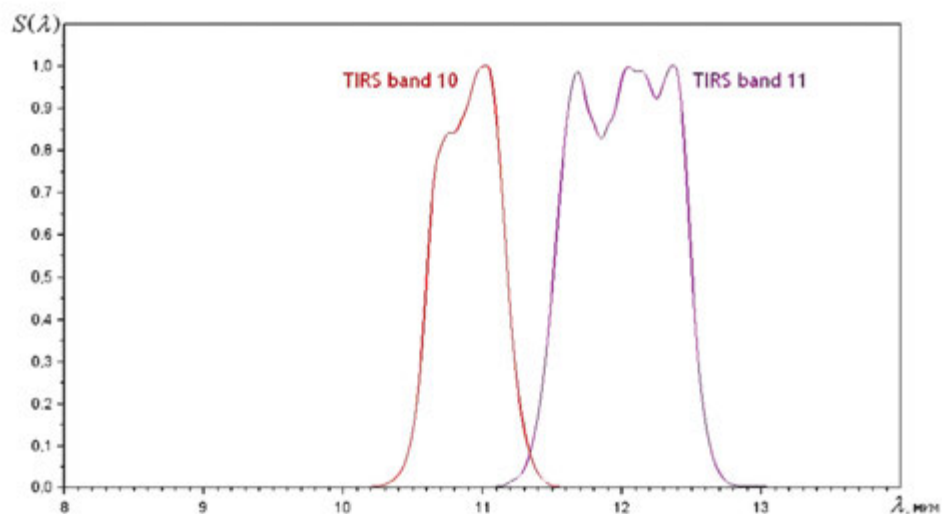
Существует специализированное программное обеспечение для моделирования технических характеристик различных типов съёмочной аппаратуры с учётом, в том числе, атмосферных условий, например, SENSOR++ [4]. В частности, опубликованы расчёты спектральных параметров $L^\uparrow$, $L^\downarrow$ и τ , необходимых для учёта влияния атмосферы при инфракрасной съёмке [2]. Пример результатов такого расчета представлен на рис. 2.

Свёртка кривых рис. 2 со спектральными чувствительностями инфракрасных рабочих спектральных диапазонов сенсора (рис. 3) позволяет получить атмосферные параметры конкретной съёмочной аппаратуры. В частности, для TIRS спутниковой системы Landsat-8 $L^\uparrow = 0.420$ Вт/(м²·мкм·ср), $L^\downarrow = 0.728$ Вт/(м²·мкм·ср), $\tau = 0.934$ для

Таблица 2.

Аппаратные константы инфракрасных сенсоров спутниковых систем серии Landsat [7]

Константы сенсора	Спутниковые системы				
	Landsat MSS band 6	Landsat TM band 6	Landsat ETM+ band 6	Landsat TIRS band 10	Landsat TIRS band 11
K_1	671.62	607.76	666.09	774.89	480.89
K_2	1284.30	1260.56	1282.71	1321.08	1201.14

**Рис. 2.** Спектральные распределения атмосферных параметров $L^\uparrow$, $L^\downarrow$ и τ **Рис. 3.** Спектральные характеристики чувствительности инфракрасной съёмочной аппаратуры TIRS спутника Landsat-8

рабочего спектрального диапазона 10 (10.8 мкм) и $L^\uparrow = 0.435$ Вт/(м²·мм·ср), $L^\downarrow = 0.655$ Вт/(м²·мм·ср), $\tau = 0.926$ для рабочего спектрального диапазона 11 (12 мкм).

Порядок определения температуры земной поверхности по материалам многоспектральной съёмки в видимом, ближнем и дальнем инфракрасных диапазонах поясняется схемой (рис. 4).

Обработка данных проводится в два потока: изображений видимого и ближнего инфракрасного диапазонов (VNIR), и изображений собственно

дальнего инфракрасного диапазона (TIR). Обе группы изображений из зарегистрированных цифровых кодов (DN) по калибровочным коэффициентам (Cal) пересчитываются в спектральную плотность энергетической яркости на апертуре сенсора L , а изображения VNIR — далее на зональные коэффициенты отражения земной поверхности c_i в каждом спектральном канале. По ним выполняется классификация земных покрытий (LC) и вычисляется вегетационный индекс NDVI. Для участков, у которых значения NDVI, соответству-

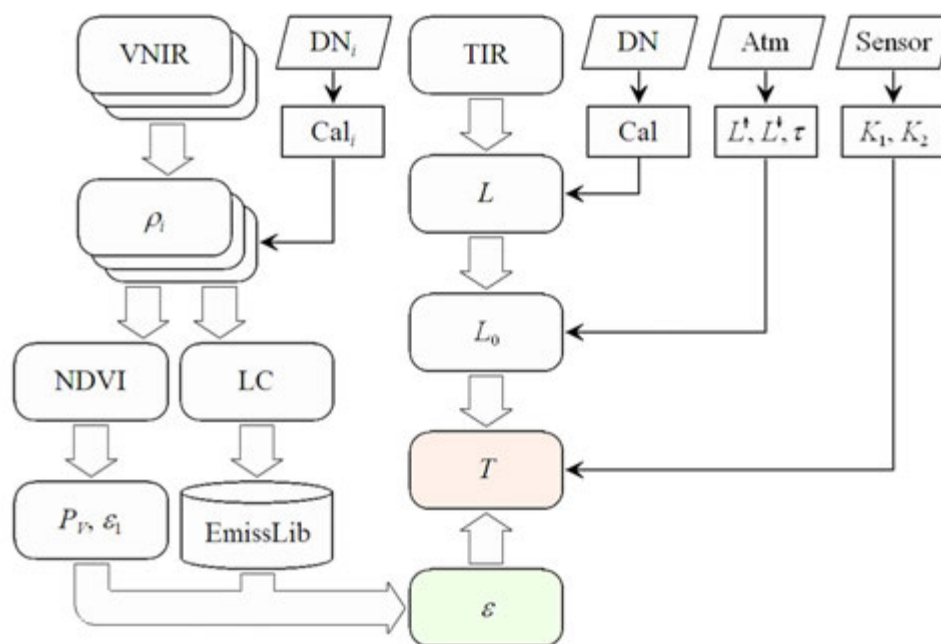


Рис. 4. Диаграмма потоков данных определения температуры земной поверхности по материалам многоспектральной съёмки в видимом, ближнем и дальнем инфракрасных диапазонах

ют частичному растительному покрову, определяется проективное покрытие растительного покрова (4), а за ним в соответствии с (5) — коэффициент теплового излучения территории с растительностью. Коэффициенты теплового излучения искусственных поверхностей, открытых почв и других нерастительных покрытий выбираются из спектральной библиотеки (EmissLib). Во втором потоке данных спектральная плотность энергетической яркости на апертуре сенсора пересчитывается сначала в спектральную плотность энергетической яркости на земной поверхности по (4), а потом — в температуру земной поверхности по (6). Аппаратные константы сенсора извлекаются из его спецификаций (Sensor). Необходимые в (4) атмосферные функции $L^{\uparrow}$, $L^{\downarrow}$ и τ контролируются состоянием атмосферы (Atm), характеристики которого могут быть получены путём прямых наземных измерений, например, из всемирной атмосферно-измерительной сети AERONET (Aerosol Robotic Network) [16], из соответствующих спутниковых информационных продуктов, например, EOS/MODIS спутниковой системы EOS [25] или количественным моделированием [8].

Оценка погрешностей дистанционного определения температуры земной поверхности по многоспектральным изображениям спутниковой системы Landsat

Для оценки погрешностей определения температуры земной поверхности выполнялась совместная обработка материалов инфракрасной спутни-

ковой съёмки Landsat-8 территории Киева 06.06.2014 и синхронных подспутниковых пирометрических измерений на 27 тестовых участках (см. рис. 1).

Для определения коэффициентов теплового излучения обработка спутникового изображения выполнялась по вышеописанному алгоритму с промежуточным расчётом проективного покрытия растительности и типов земных покрытий (рис. 5).

Для сравнения также была проведена обработка по упрощённому алгоритму на основе уравнения радиационного переноса [15] с определением коэффициента теплового излучения по известной регрессионной зависимости вида

$$\epsilon(\lambda) \approx 1.0098 + 0.047 \ln \text{NDVI}, \quad (8)$$

справедливой в диапазоне значений NDVI от 0.157 до 0.727 [20].

На рис. 6 показана карта термодинамической температуры земной поверхности, восстановленной по результатам обработки в соответствии со схемой (рис. 4).

Среднее расхождение температуры с результатами наземных измерений на тестовых участках составляет — 0.93°C, максимальное — 5.34°C, что довольно неплохо по сравнению с упрощённым алгоритмом с вычислением по (8): среднее расхождение температуры — 3°C, максимальное — 11°C. Полученные оценки хорошо согласуются с уже известными результатами [24], что косвенно подтверждает их правильность.

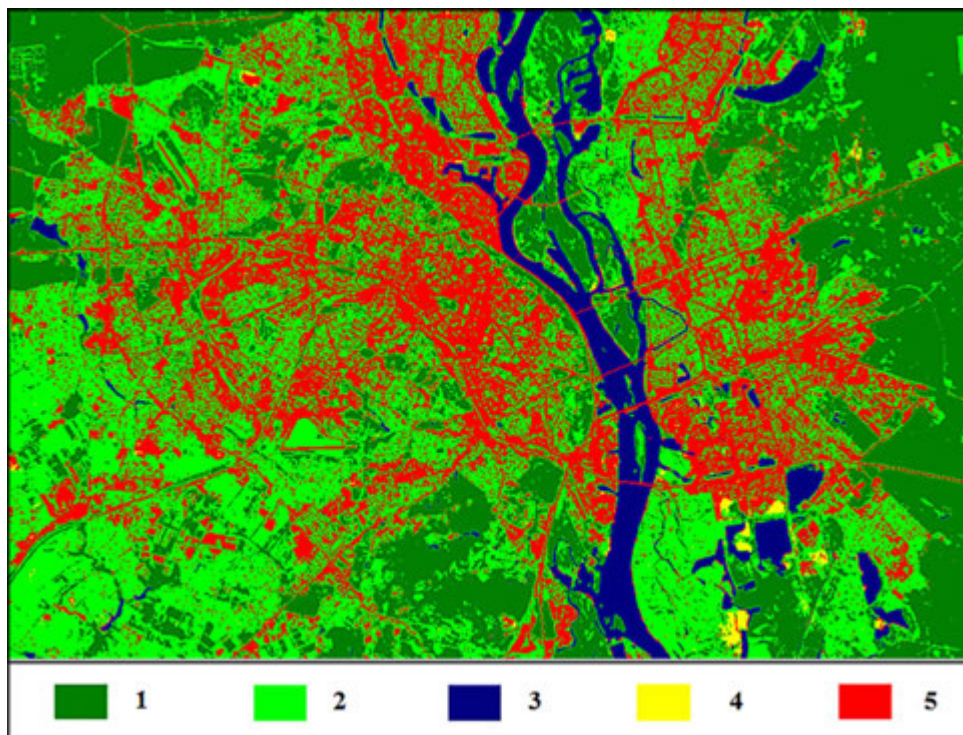


Рис. 5. Карта районирования территории Киева по типу поверхностей, построенная на основе классификации материалов съёмки спутником Landsat-8.

1 — густой растительный покров; 2 — разреженный растительный покров; 3 — водные поверхности; 4 — песчаные поверхности; 5 — искусственные поверхности

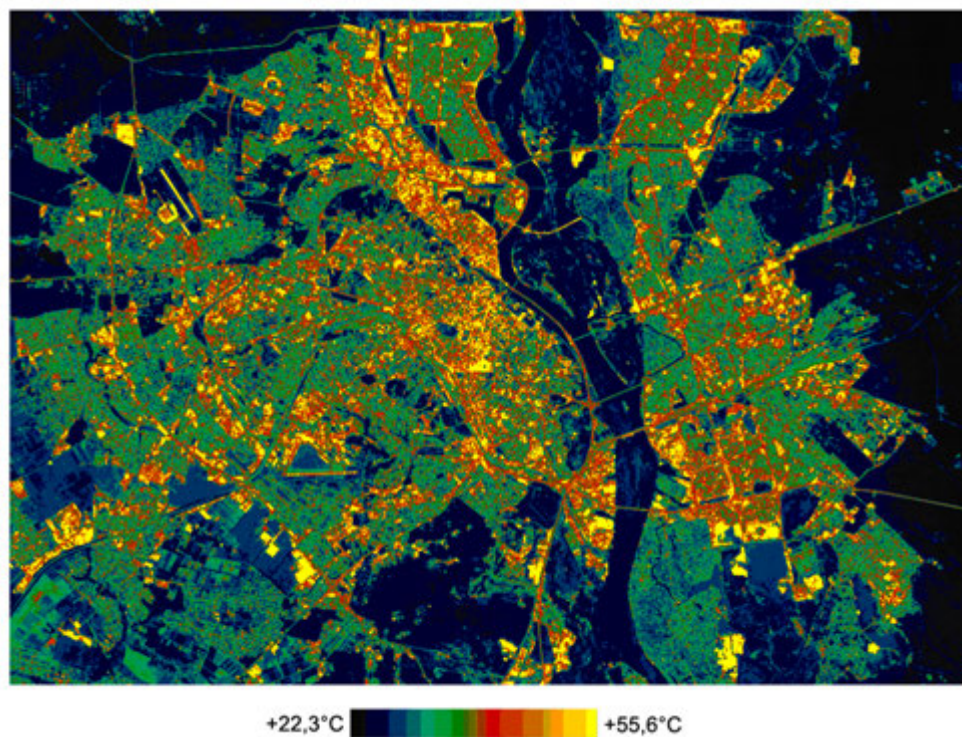


Рис. 6. Карта термодинамической температуры земной поверхности территории Киева, восстановленной по материалам тепловой съёмки спутником Landsat-8 (дата съёмки: 31 июля 2014 г., время съёмки: 9:55 GMT) с использованием результатов наземной проверки (методика украинской стороны проекта)

Восстановление термодинамической температуры земной поверхности по тепловым изображениям спутников Landsat и EOS (MODIS) с использованием модели MODTRAN

Восстановление термодинамической температуры земной поверхности урбанизированной территории включало в себя следующие этапы:

- На ту же дату (31 июля 2014) и на момент времени (8:20 GMT) близкий ко времени съёмки спутником Landsat-8 (9:55 GMT) в форме карты были получены данные спутника EOS (Terra) о содержании воды в атмосфере над Киевом.
- Для полного диапазона содержаний воды в атмосфере на указанную дату по модели MODTRAN для летней атмосферы средних широт получены оценки пропускания и излучения атмосферы и рассчитаны коэффициенты регрессии для восстановления этих параметров по содержанию воды в атмосфере.
- Полученные регрессионные коэффициенты были использованы для расчета атмосферных параметров. Температура земной поверхности и спектральные коэффициенты излучения восстанавливались путем минимизации разности температур в двух тепловых каналах спутника Landsat-8, в качестве дополнительного условия использована связь между максимальным и минимальным коэффициентами излучения в двух различных диапазонах теплового спектра [3].
- Средняя по двум каналам спутника Landsat-8 оценка принималась за искомую термодинамическую температуру, а разность рассматривалась как количественная характеристика ошибки восстановления температуры (среднее значение 0.00 ± 0.015 K).

Сравнение данных по оценкам коэффициента теплового излучения природных и искусственных поверхностей, полученные различными методами (табл. 1, 3) показывает, что для травянистых поверхностей совпадение значений высокое. В то же время, для водной поверхности значения коэффициентов теплового излучения существенно отличаются.

Интеркалибрация методики восстановления температуры земной поверхности по тепловым изображениям спутников Landsat методикой восстановления температуры земной поверхности по материалам съёмки на основе модели MODTRAN

Интеркалибрация двух методов восстановления температуры по результатам спутниковой ИК-тепловой съёмки (рис. 7) показывает, что имеется приближенно линейная зависимость между результата-

ми восстановления ТЗП, полученными двумя выше-описанными методиками. При этом, отмечается систематическое различие между двумя массивами восстановленных температур, достигающее 5°C .

Необходимо отметить, что наибольшие расхождения в результатах отмечаются на акваториях (см. рис. 7), что может быть вызвано различными значениями коэффициентов теплового излучения использованными в рамках двух методик. Кроме того, на гистограмме водные поверхности образуют самостоятельное “облако” (см. рис. 7). Возможно, что это вызвано спецификой зеркального излучения и отражения длинноволновой радиации на поверхности воды. В результате на апертуру спутникового сканера может попадать меньшая энергия, чем от участков суши, где преобладает диффузное отражение. Этот эффект должен приводить к заниженным значениям температуры поверхности акваторий, что и отмечается в данном случае (см. рис. 7).

В целом, следует отметить, что пространственное распределение восстановленных двумя методами ТЗП имеет форму симметричного вытянутого “облака” (см. рис. 7), что свидетельствует о линейности в пределах исследованного диапазона температур обоих использованных преобразований (методик). Кроме того, в пределах большей части объектов поверхности городской среды (ПГС), имевших температуру в диапазоне от $+32^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$, различия восстановленных температур не превышают 1°C , что, например, вполне приемлемо для картирования участков перегрева элементов городской среды.

Учитывая наземную верификацию метода восстановления ТЗП по результатам многоспектральной космической съёмки только спутником Landsat-8, в дальнейшем, при решении измерительных задач целесообразно использовать эту методику как наиболее проверенную.

Выводы

1. Интеркалибрация двух методов восстановления температуры земной поверхности урбанизированной территории показала, что в рамках диапазона температур, соответствующего периоду максимального сезонного прогрева элементов городской среды Киева, оба метода могут быть охарактеризованы как близкое к линейному преобразование спектральных плотностей энергетической яркости земных покровов.
2. По результатам интеркалибрации алгоритм расчёта температуры земной поверхности, основанный на районировании территории по типу покрытий, может быть выбран в качестве основного в рамках решения измерительных задач, использующих материалы съёмки спутниками Landsat-8. Незначительное по сравнению с контактными методами занижение дистанционных оценок тем-

Таблица 3.

Средние значения восстановленных по материалам съёмки спутника EOS (MODIS) параметров земных покровов и атмосферы в границах Киева и окрестностей, которые были использованы для восстановления термодинамической температуры по данным съёмки Landsat-8 (дата: 31 июля 2014 г.)

Коэффициенты излучения типовых земных покровов	Канал 10 (10.8 мкм)	Канал 11 (12 мкм)
Травянистая растительность	0.946	0.963
Древесная растительность	0.952	0.966
Городские территории	0.937	0.956
Водная поверхность акваторий	0.987	0.986
Среднее содержание воды в атмосфере, $г/см^2$		2.7

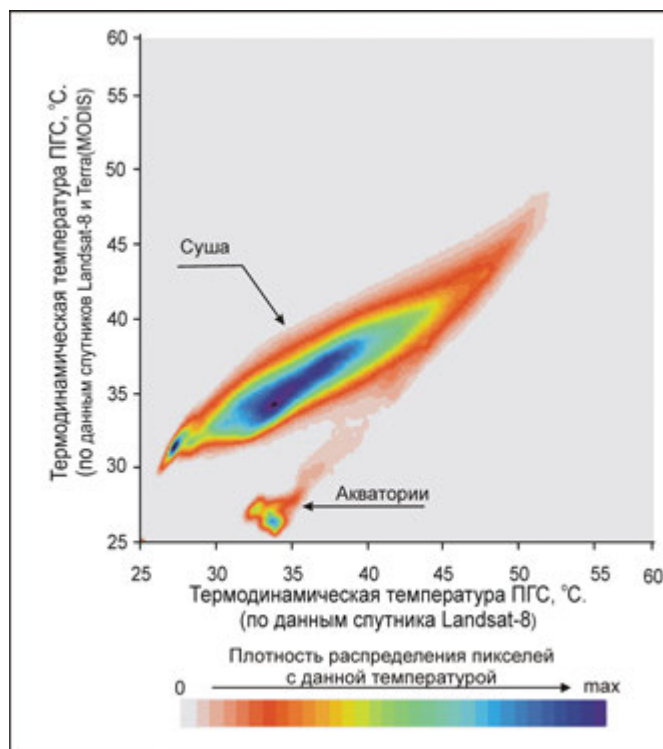


Рис. 7. Гистограмма распределения термодинамической температуры земной поверхности, восстановленной по материалам съёмки только спутником Landsat-8/TIRS (методика, используемая ЦАКИЗ ИГН НАН Украины) и по данным съёмки спутниками Landsat-8/TIRS и EOS/MODIS (методика, используемая НИЦЭБ РАН)

пературы земной поверхности (среднее отклонение — 0.93°C , максимальное — 5.34°C) является вполне приемлемым для практического температурного мониторинга ПГС по материалам инфракрасной космической съёмки среднего разрешения.

- Дальнейшие исследования следует направить на снижение погрешностей дистанционного картографирования температуры земной поверхности путём более детального районирования исследуемой территории за счёт увеличения количества классов при классификации земных покровов по многоспектральным спутниковым изображениям и на разработку более прецизионной методики восстановления температуры поверхности водной среды по материалам съёмки спутником Landsat-8.

Благодарности

Данное исследование выполнено в рамках российско-украинского научно-исследовательского проекта “Исследование влияния урбанизации на микроклимат городов (по материалам тепловых аэрокосмических съёмок)” при финансовой поддержке НАН Украины (проектный грант № 10-05-14) и РФФИ (проектный грант № 14-05-90416).

Литература

- Баранов В. Л. Алгоритм автоматизованого оцінювання спектрального коефіцієнта теплового випромінювання / В. Л. Баранов, С. В. Водоп'ян, Р. В. Гришук // Вісник ЖДТУ.— 2006.— № 4 (39).— С. 77–83.
- Горный В. И. О возможности картографирования фи-

- зико-географических зон тепловой космической съемкой / В. И. Горный, С. Г. Крицук // Доклады академии наук.— 2006.— Т. 411.— № 5.— С. 684–686.
3. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники / Л. З. Криксунов.— М.: Советское радио, 1978.— 400 с.
 4. Попов М. О. Перспективи використання інфрачервоного аерознімання для вирішення природоресурсних і спеціальних задач / М. О. Попов, М. І. Лихоліт, С. А. Станкевич, В. В. Полежаєв, В. М. Тягун, О. В. Титаренко // Матеріали науково-практичної конференції “Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій”.— Київ: ІЗІТ НАУ, 2011.— С. 33–39.
 5. Chander G. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors / G. Chander, B.L. Markham, D.L. Helder // Remote Sensing of Environment.— 2009.— Vol. 113.— No. 5.— P. 893–903.
 6. Coll C. Validation of Landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements / C. Coll, J. M. Galve, J. M. Sánchez, V. Caselles // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.— 2010.— Vol. 48.— No. 1.— P. 547–555.
 7. Felde G. W. Water vapor retrieval using the FLAASH atmospheric correction algorithm / G. W. Felde, G. P. Anderson, J. A. Gardner, S. M. Adler-Golden, M. W. Matthew, A. Berk // Proceedings of SPIE.— 2004.— Vol. 5425.— P. 386–396.
 8. Gillespie A. R. Temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images / A. R. Gillespie, S. Rokugawa, S. J. Hook, T. Matsunaga, A. B. Kahle // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.— 1998.— Vol. 36.— No. 4.— P. 1113–1126.
 9. Guanter L. A method for the surface reflectance retrieval from PROBA/CHRIS data over land: Application to ESA SPARC campaigns / L. Guanter, L. Alonso, J. Moreno // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.— 2005.— Vol. 43.— No. 12.— P. 2908–2917.
 10. Kaspersen P. S. Using Landsat vegetation indices to estimate impervious surface fractions for European cities / P. S. Kaspersen, R. Fensholt, M. Drews // Remote Sensing.— 2015.— Vol. 7.— No. 6.— P. 8224–8249.
 11. Kaufman Y. J. Remote-sensing of water-vapor in the near IR from EOS/MODIS / Y. J. Kaufman, B. C. Gao // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.— 1992.— Vol. 30.— No. 5.— P. 871–884.
 12. Li Z.-L. Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives / Z.-L. Li, B.-H. Tang, H. Wu, H. Ren, G. Yan, Z. Wan, I. F. Trigo, J. A. Sobrino // Remote Sensing of Environment.— 2013.— Vol. 131.— No. 12.— P. 14–37.
 13. Paproth C. SENSOR++: Simulation of remote sensing systems from visible to thermal infrared / C. Paproth, E. Schlyler, P. Scherbaum, A. Burner // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.— 2012.— Vol. XXXIX.— Part B1.— P. 257–260.
 14. Perez Hoyos I. C. Comparison between land surface temperature retrieval using classification based emissivity and NDVI based emissivity / I. C. Perez Hoyos // International Journal of Recent Development in Engineering and Technology.— 2014.— Vol. 2.— No. 2.— P. 26–30.
 15. Pérez-Ramírez D. Evaluation of AERONET precipitable water vapor versus microwave radiometry, GPS, and radiosondes at ARM sites / D. Pérez-Ramírez, D. N. Whiteman, A. Smirnov, H. Lyamani, B. N. Holben, R. Pinker, M. Andrade, L. Alados-Arboledas // Journal of Geophysical Research.— 2014.— Vol. 119.— No. 15.— P. 9596–9613.
 16. Radiometric Temperature Measurements Fundamentals / Z. M. Zhang, B. K. Tsai, G. Machin (Eds).— Amsterdam: Academic Press, 2010.— 356 p.
 17. Snyder W. C. Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space / W. C. Snyder, Z. Wan, Y. Zhang, Y.-Z. Feng // International Journal of Remote Sensing.— 1998.— Vol. 19.— No. 14.— P. 2753–2774.
 18. Sobrino J. A. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors / J. A. Sobrino, J. C. Jiménez-Muñoz, G. Soria, M. Romaguera, L. Guanter // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.— 2008.— Vol. 46.— No. 2.— P. 316–327.
 19. Tang H. Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications / H. Tang, Z.-L. Li.— Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.— 302 p.
 20. Thermal Infrared Remote Sensing: Sensors, Methods, Applications / C. Kuenzer, S. Dech (Eds).— Dordrecht: Springer, 2013.— 556 p.
 21. Valor E. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas / E. Valor, V. Caselles // Remote Sensing of Environment.— 1996.— Vol. 57.— No. 3.— P. 167–184.
 22. Van de Griend A. A. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces / A. A. Van de Griend, M. Owe // International Journal of Remote Sensing.— 1993.— Vol. 14.— No. 6.— P. 1119–1131.
 23. Wan Z. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space / Z. Wan, J. Dozier // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.— 1996.— Vol. 34.— No. 4.— P. 892–905.
 24. Wittich K.-P. Some simple relationships between land-surface emissivity, greenness and the plant cover fraction for use in satellite remote sensing / K.-P. Wittich // International Journal of Biometeorology.— 1997.— Vol. 41.— No. 2.— P. 58–64.
 25. Yang H. Algorithm of emissivity spectrum and temperature separation based on TASI data / H. Yang, L. F. Zhang, X. Zhang, C. Fang, Q. Tong // Journal of Remote Sensing.— 2011.— Vol. 15.— No. 6.— P. 1242–1254.
 26. Yu X. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS — comparison between radiative transfer equation-

- based method, split window algorithm and single channel method / X. Yu, X. Guo, Z. Wu // Remote Sensing.— 2014.— Vol. 6.— No. 10.— P. 9829–9852.
27. Zhao S. Comparison of two split-window methods for retrieving land surface temperature from MODIS data / S. Zhao, Q. Qin, Y. Yang, Y. Xiong, G. Qiu // Journal of Earth System Science.— 2009.— Vol. 118.— No. 4.— P. 345–353.

ІНТЕРКАЛІБРАЦІЯ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ УРБАНІЗОВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ТЕПЛОВОЇ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ

С. А. Станкевич, В. Є. Філіпович, Н. С. Лубський, Г. Б. Крилова, С. Г. Кріцук, О. В. Бровкіна, В. І. Горний, А. А. Тронін

У рамках Російсько-Українського міжнародного проекту “Дослідження впливу урбанізації на мікроклімат міст (за матеріалами теплових аерокосмічних зйомок)”, підтриманого РФФД (№14-05-90416) і НАН України (№10-05-14) двома науковими колективами проведена незалежна порівняльна оцінка (інтеркалібрація) двох методів відновлення термодинамічної температури земної поверхні за матеріалами теплових космічних зйомок Києва, виконаних системами низького — EOS/MODIS, і середнього — Landsat 8/TIRS просторового розрізнення. Досліджувалися алгоритми відновлення термодинамічної температури і коефіцієнтів теплового випромінювання, побудовані як на використанні регресійних залежностей, так і наземних завіркових вимірювань. Встановлено розбіжність визначення температури (середнє відхилення оцінено як -0.93°C) є цілком прийнятним для кількісного температурного моніторингу міського середовища за матеріалами теплової інфрачервоної космічної зйомки.

Ключові слова: супутникова зйомка, міська територія, земна поверхня, інфрачервоне випромінювання, відновлення термодинамічної температури, коефіцієнт теплового випромінювання, інтеркалібрація

INTERCALIBRATION OF METHODS FOR THE LAND SURFACE THERMODYNAMIC TEMPERATURE RETRIEVING INSIDE URBAN AREA BY THERMAL-INFRARED SATELLITE IMAGING

S. A. Stankevich, V. E. Filipovich, N. S. Lubsky, A. B. Krylova, S. G. Kritsuk, O. V. Brovkina, V. I. Gornyy, A. A. Tronin

A comparative independent evaluation (intercalibration) of two methods for the land surface thermodynamic temperature retrieving by thermal infrared satellite imaging of Kiev was done in the framework of joint Russian and Ukrainian project “Investigation of urbanization influence on city’s microclimate (using thermal infrared satellite mapping)”, supported by RFBR (No 14-05-90416) and NAS of Ukraine (No 10-05-14). Both, low resolution EOS/MODIS and medium-resolution Landsat 8/TIRS thermal infrared images were processed. Algorithms for the thermodynamic temperature and emissivity retrieving based on regressions and ground-truth measurements were applied and compared. Average regular error of land surface temperature retrieving was estimated as -0.93°C . Such accuracy is quite acceptable for the urban environment quantitative temperature monitoring by thermal infrared satellite imaging.

Keywords: satellite imaging, urban area, land surface, infrared irradiation, retrieving thermodynamic temperature, emissivity, intercalibration

УДК 528.8:553.96:(551.4:551,248.2)(477)

Використання матеріалів дистанційного зондування Землі і геолого-геофізичних даних при прогнозуванні розповсюдження бучацьких буровугільних відкладів Дніпровського басейну на основі неотектонічного аналізу

Н. В. Пазинич *, Л. П. Ліщенко, О. М. Теремченко

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

В статті розглянуто можливості використання матеріалів дистанційного зондування Землі для укладання регіональної неотектонічної картосхеми Дніпробасу з метою прогнозування розповсюдження буровугільних відкладів, пов'язаних з відносно пониженими блоками Українського щита.

Ключові слова: Дніпробас, буре вугілля, космічні знімки, цифрові моделі рельєфу, лінеamenti, неотектонічний аналіз

© Н. В. Пазинич, Л. П. Ліщенко, О. М. Теремченко. 2015

Як правило, головною метою проведення неотектонічного аналізу, на основі матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для пошуку корисних копалин було виділення відносно припіднятих та лінійних аномалій рельєфу, як результату прояву на поверхні структурних пасток вуглеводнів, або рудовміщуючих тіл. Багаторічний досвід робіт в ЦАКДЗ дозволив визначити комплекс дешифрувальних ознак спрямований на виділення локальних додатних структур та розломно-тріщинної мережі [9].

Натомість, при пошуках буровугільних покладів метою досліджень є виділення відносно понижених аномалій рельєфу, що успадковують пониження бучацьких відкладів палеогену Українського щита (УЩ). Потрібно зазначити, що методика використання матеріалів ДЗЗ для виділення за структурно-геоморфологічними, неотектонічними ознаками відносно понижених аномалій рельєфу є недостатньо розробленою і обмежено застосовується при геолого-пошукових роботах. Певний досвід використання дистанційних методів при прогнозуванні буровугільних покладів неогену ще у 70-х роках минулого століття почав накопичуватись у Мінській лабораторії аерогеологічних і морфометричних методів (Білорусь). Спеціалістами лабораторії була проведена оцінка перспективності Прип'ятської западини на буре вугілля неогену. Роботи проводились синхронно з бурінням розвідувальних свердловин. В результаті досліджень було виділено ряд перспективних районів: Кранослободской, Пасека, Кольно, Большой Малишев та інші прояви вугілля та родовища [11]. Пошуковими критеріями буровугільних родовищ було виділення за матеріалами аерофотозйомки та морфометричними побудова-

ми похованих долин неогенового віку, що можуть містити поклади.

Середина 2015 року відзначилась „бурштиною лихоманкою”. Мабуть, саме тому увагу привернуло ряд наукових праць в яких визначено та проаналізовано тісний зв'язок понизь палеорельєфу УЩ з бурим вугіллям та ...бурштином [4, 5, 6, 7]. Окрім пошукових критеріїв бурого вугілля, через вивчення палеорельєфу, наукова думка пропонує цікаве нове посилення. За класичними геологічними уявленнями поклади бурого вугілля — лігніту та викопних смол є корінними покладами. Натомість, бурштин залягає у розсипному стані. Корінні родовища бурштину не виявлені. Весь бурштин є перевідкладеним, вимитим з еоценових буровугільних покладів. У 2007–2009 рр. була обґрунтована можливість бурштиноутворення безпосередньо з буровугільного бітуму [4, 5]. Сприятливі і умови для вуглеутворення за рахунок значної біомаси сформувалися на початку середнього еоцену на території УЩ, що територіально відповідає Дніпровському буровугільному басейну (Дніпробасу) [7].

Розсипи бурштину — сукциніту просторово розташовані біля зовнішнього краю Дніпробасу, що вказує на можливість розповсюдження корінних покладів саме в межах УЩ. Причому найбільш багаті розсипи знаходяться на північно-західних окраїнах буровугільного басейну, де шари насиченого бітумом вугілля майже повністю розмиті. Вторинне походження бурштину-сукциніту належить до визначених фактів. Прогнозування розсипів неможливе без встановлення місцезнаходження корінного материнського родовища. Різноманітні пониззя поверхні УЩ в наступні геологічні етапи успадковані палеодолинами і озерними улоговинами на континентальних етапах розвитку були зонами акумуляції рослинних залишків. Бітумомістке буре вугілля, до

* e-mail: n.pazinich@yandex.ua

складу якого включено і викопні смоли, що накопичувалось у пониженнях рельєфу, є джерелом накопичення протобурштину. Не порушені пізнішими розмивами буровугільні поклади збереглися у давніх депресіях. Саме ці депресії стали джерелом постачання бурштину в морські басейни в наступні етапи розмиву і седиментації.

На думку В. М. Мацяя, і В. Ю. Єфименко, депресії в кристалічному ложі Дніпровського басейну (палеодолини і долиноподібні пониження), заповнені або буцацькими буровугільними відкладами з включеннями викопних смол, або еоцен-олігоценовими бурштиновміщуючими відкладами, часто перемитими і перевідкладеними в неогені і антропогені, вимагають найпильнішої уваги і вивчення у зв'язку з вирішенням проблем бурштиноносності регіону. Таким чином використання матеріалів ДЗЗ при прогнозуванні і виділенні похованих палеодолин і ізометричних понижь палеорельєфу може мати застосування при пошуках не тільки бурого вугілля але й супутніх розсіпів бурштину.

Дніпровський буровугільний басейн в структурному відношенні розташований в межах УЩ, головним чином обіймає площі Кіровоградського і Середньодніпровського мегаблоків. Геологічними дослідженнями встановлено, в своїй більшості родовища бурого вугілля залягають в межах відносно понижених блоків та у долиноподібних пониженнях фундаменту. Саме там існували умови для формування в мілководних долинах торфовищ, їх наступної літіфікації і подальшого збереження покладів вугілля. Окрім того, доведено, що умовою формування покладів вугілля, а саме перетворення первинних покладів торфу, у після буцацький час, на поклади вугілля є підток флюїдів по розломам і тріщинам фундаменту. Базуючись на цих результатах робіт геологів-вугільників були намічені два основні напрямки досліджень. Перший — виділення лінеamentів, що є ймовірним проявом розломно-тріщинної мережі, яка за рахунок розущільнення є флюїдопроникною і може зумовлювати формування покладів вугілля з торфових мас. Другий — виявлення за матеріалами ДЗЗ відносно понижених ділянок денної поверхні, що повторюють структурні поверхні геологічної основи і є потенційно вугільно-місткими об'єктами.

В цілому, в структурно-геоморфологічному сенсі, УЩ відноситься до прямих успадкованих припіднятих структур. Поверхня УЩ має блокову, клавішну структуру. Підняті блоки фундаменту на неотектонічному етапі розвитку формують підвищені ділянки поверхні, а опущені блоки — відносні пониження рельєфу, що успадковані сучасною долинною мережею. Метою досліджень було проведення всебічного аналізу денної поверхні за даними ДЗЗ і лінеamentного аналізу для виділення розломно-тріщинної мережі та побудови картосхеми неотектонічної структури Дніпробасу. Базовими матеріалами де-

шифрування і виділення мережі лінеamentів були КЗ Landsat TM (час зйомки — вересень 2011 р.), синтез 7, 4, 2 і 7, 5, 3 каналів і цифрові моделі рельєфу (ЦМР) (рис.1).

Після етапу дешифрування було проведено ранжування угруповань лінеamentів, що мають загальне орієнтування, підвищену щільність поширення і виділені відповідні зони лінеamentів. Узагальнено лінеamentні групи мають два головних напрями північно-західний та субмеридіональний. Проведене зіставлення з геологічними матеріалами показало, що субмеридіональні лінеamentні зони відповідають активним зонам геологічних розломів.

Створення наступного інформаційного блоку неотектонічної картосхеми полягало у виділенні окремих блоків поверхні, що відрізняються за відносною неотектонічною активністю. Ознаками диференційованості поверхні є її абсолютні позначки, відносні перевищення, особливості накладених форм рельєфу та екзогенних геологічних процесів. Базові дані були отримані шляхом трансформації ЦМР у програмі Global Mapper (рис. 2).

Після всебічного аналізу даних отриманих в результаті трансформації ЦМР виділено окремі блоки зі схильністю до відносних неотектонічних опускань та піднятих. Лінеamentна мережа та блокова структура були узгоджені і на основі цього складена регіональна картосхема неотектонічної будови Дніпробасу (рис. 3).

З метою верифікації було проведено зіставлення блокової структури неотектонічної картосхеми зі схемою розташування буровугільних покладів з карти вивченості центральної частини Дніпробасу. Достатньо чітко на карто-схемі видно, що більшість родовищ бурого вугілля розташовано в межах неотектонічних блоків зі схильністю до відносних опускань.

Також проведено зіставлення віддешифрованих угруповань лінеamentів з масивом геологічних даних [1, 3, 8, 10]. Для порівняння з геологічними матеріалами було обрано карти регіонального масштабу — 1 : 1 500 000, 1 : 1 000 000. Однією з сучасних ідей українських вчених, що до формування покладів та генезису бурого вугілля, є припущення, що поклади пов'язані не тільки з пониженнями, де накопичуються органічні рештки, але й з місцями підвищеної флюїдопроникності, тобто місцями активних на час вуглеутворення розломів, що обрамляють пониження. Тут створюється газонасичене середовище, в якому і може протікати процес утворення саме лігнітів [2]. За геологічними даними [3] виділяються зони активізації розломів з якими пов'язані різні металогенічні площі. Саме у таких зонах існують умови до розущільнення порід і їх підвищеної проникності для глибинних флюїдів, що створювало оптимальні умови для трансформації буцацьких торфів у буре вугілля. В умовних позначеннях до картосхеми неотектонічної будови ці

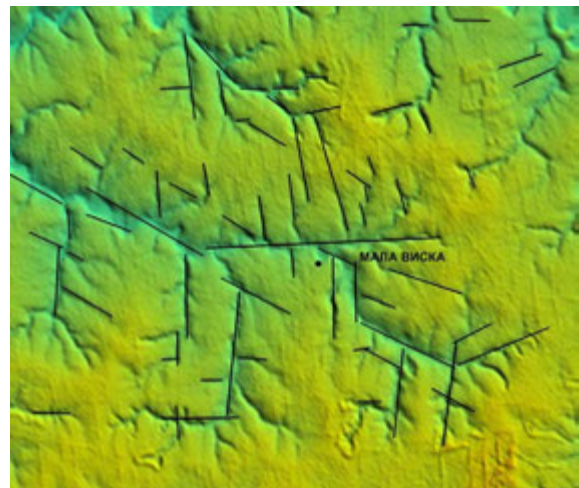
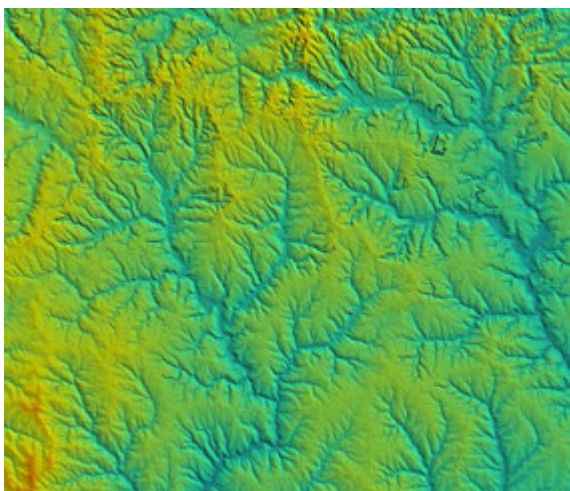
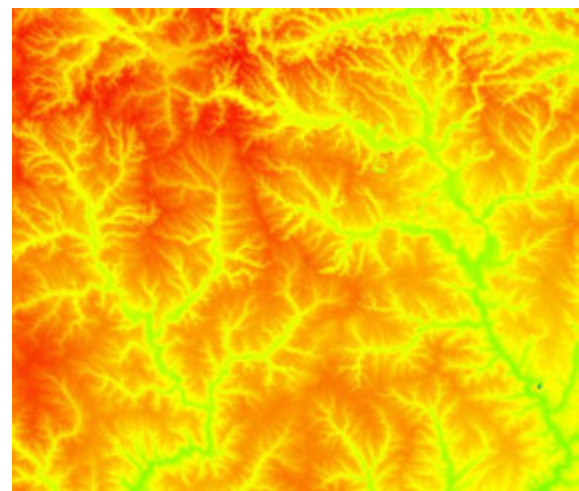
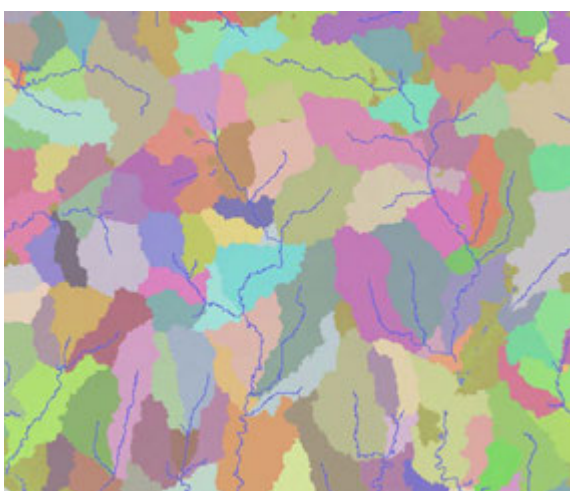
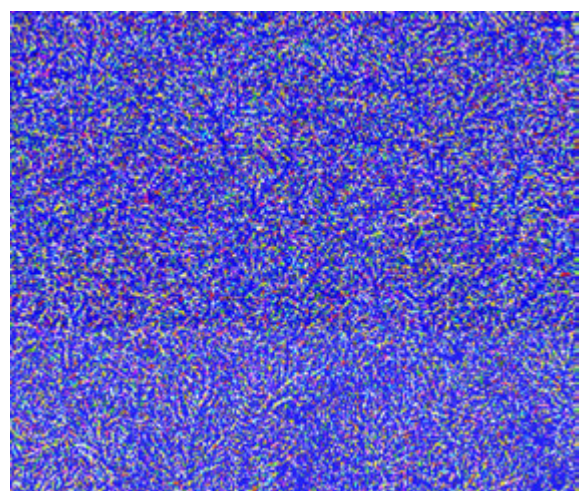
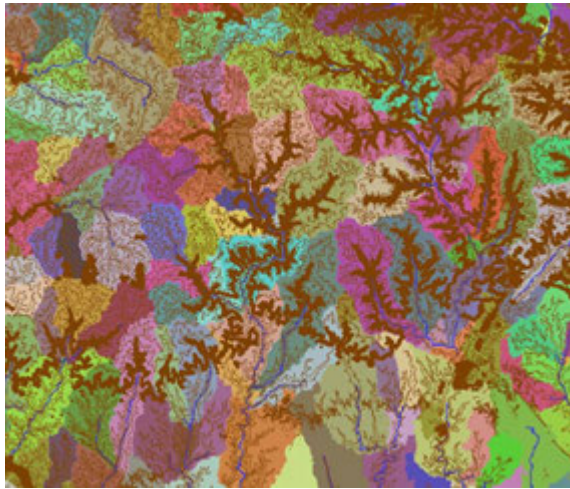
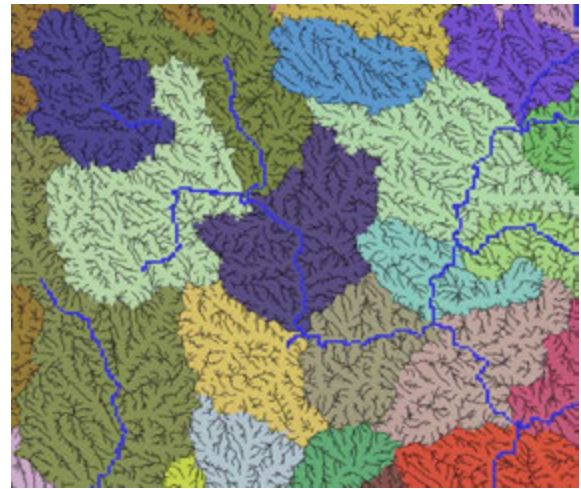
**а****б**

Рис. 1. Виділення лінеamentів за матеріалами КЗ Landsat TM (час зйомки — вересень 2011 р.), кольоровий композит 7, 4, 2 каналів, RGB (а) та ЦМР (б)

**а****б****в****г**



д



е

Рис. 2. Трансформації ЦМР у програмі Global Mapper: а, б — різні типи шейдерів; в, г — дренажна мережа, задана з різною площею басейнів та довжиною водотоків; д, е — дренажна мережа з горизонталями через 25 м та вододілами

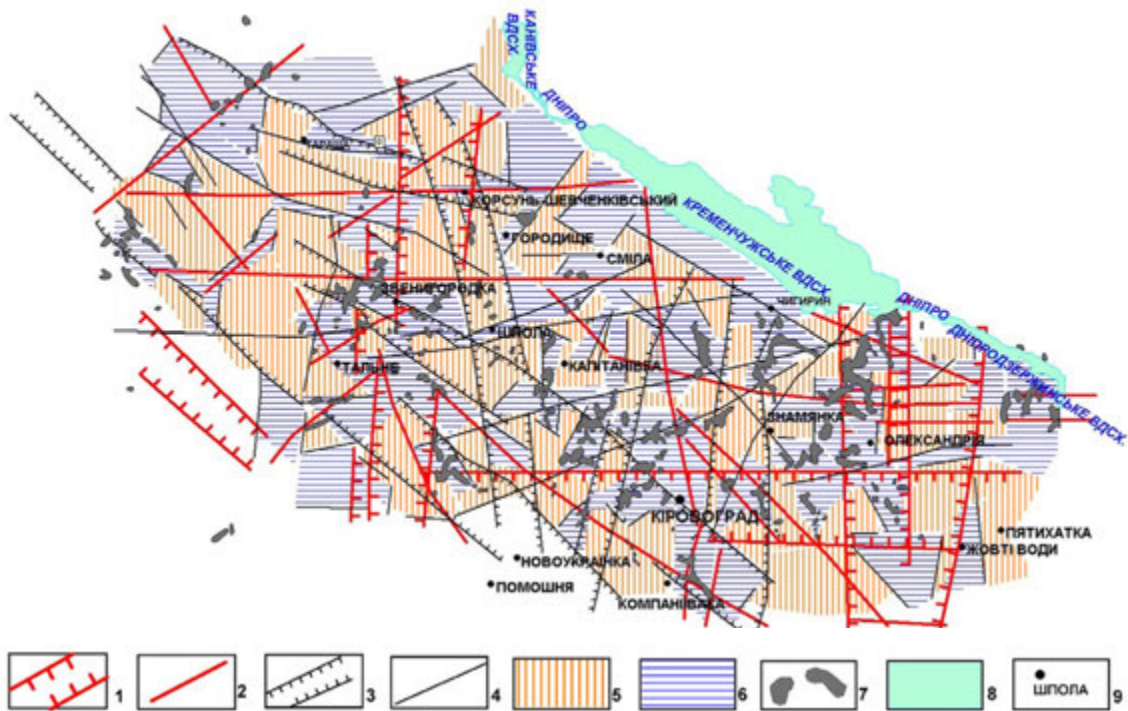


Рис. 3. Картоschema неотектонічної будови Дніпробасу.

1 — зони лінеamentів, що співпадають з активними зонами розломів, виділених за геолого-геофізичними даними; 2 — лінеamenti, що співпадають з розломами, виділеними за геолого-геофізичними даними; 3 — зони лінеamentів, що не мають геологічного підтвердження; 4 — окремі лінеamenti, що не мають геологічного підтвердження; 5 — блоки зі схильністю до відносних неотектонічних піднять; 6 — блоки зі схильністю до відносних неотектонічних опускань; 7 — родовища бурого вугілля; 8 — р. Дніпро з водосховищами; 9 — населені пункти

зони позначені цифрою 1 і мають, головним чином, субмеридиональне простягання (рис. 4). В результаті ранжування лінеamentної мережі виділено зони лінеamentів та лінеamenti, що співпадають з розломами виділеними за геолого-геофізичними даними, та зони лінеamentів та окремі лінеamenti, що не знаходяться підтвердження матеріалами геологічних робіт регіонального масштабу. Певної уваги варта зона лінеamentів північно-західного спрямування, що простягається від м. Компаніївки до м. Звениго-

родки. Ця лінеamentна зона не має підтвердження геологічними даними, проте в її межах розташована значна кількість родовищ.

Зіставлення авторами розвіданих родовищ бурого вугілля з картоschemaю неотектонічної будови дозволило виявити чітке тяжіння більшості розвіданих родовищ бурого вугілля до виділених, в результаті неотектонічних побудов на основі матеріалів ДЗЗ, блоків зі схильністю до відносних неотектонічних опускань.

Проведеними дослідженнями встановлено, що матеріали ДЗЗ є достатньо інформативною основою для нетектонічних досліджень буровугільного Дніпровського басейну. Укладання картосхеми неотектонічної будови території Дніпробасу за даними матеріалів ДЗЗ складається з двох основних етапів: виділення лінеamentної мережі за КЗ та ЦМР і наступного комплексування та інтерпретації з геолого-геофізичними даними; аналізу ЦМР та їх трансформацій як основи для виявлення різновисокої блокової структури. Найбільш активними у вуглеформуванні є зони лінеamentів північно-західного та субмеридіонального напрямів. Картосхему регіональної неотектонічної будови Дніпробасу, що укладена за матеріалами багатоспектрального аерокосмічного знімання, слід використовувати на попередніх етапах пошуків похованих долин палеогенового віку, що можуть містити поклади бурого вугілля, які крім того є корінними відкладами, з яких формуються супутні родовища корисних копалин.

Література

1. Геологічна карта України / Г. І. Педанюк, В. А. Колосовська, Л. О. Демехін, В. А. Соловицький, Д. А. Сидорова // Державна Геологічна служба України. Комплект карт геологія і корисні копалини України. Головний редактор Д. С. Гурський. Масштаб 1:100 000. Редактор карти В. Я. Великанов. — К., 2007 р.
2. Гуридов С. А. Условия формирования угленосных обложений палеогена Украинского щита: автореферат диссертации на соискание степени кандидата геол.-мин. наук / Сергей Анатольевич Гуридов. — К., 1987. — 21 с.
3. Карта редкоземельного оруденения Украинского щита / Л. В. Бочай, В. Е. Покидько, Е. А. Кулиш, В. А. Колосовская // Государственный комитет Украины по геологии и использованию недр. ГТП “Геоинформ”, масштаб 1:1 500 000. — К. 1999 г., 98 с., граф. прил. — 3 листа.
4. Лебідь М. І. Палеогеографічні аспекти прогнозу розсіпів бурштину (на основі бітумно-буровугільної гіпотези) / М. І. Лебідь, В. М. Мацуй. Український Бурштин // Матер. Першої Міжнародн. наук.-практичн. конференції (Київ, 17–21 жовтня 2007 р.). — К., 2008. — С. 38–48.
5. Лебедь Н. И. К проблеме формирования продуктивных горизонтов янтаря-сукцинита / Н. И. Лебедь, В. М. Мацуй // Геол. журн. № 2, — К., 2009. — С. 64–67.
6. Мацуй В. М. Особенности формирования и прогноза россыпей янтаря. Актуальные проблемы современной геологии, геохимии и географии / В. М. Мацуй, В. Ю. Ефименко // Сборник материалов международной научно-практической конференции. Брест, 28–30 сентября 2011 г. БрГУ им. А. С. Пушкина 2011 г. — С. 143–146.
7. Мацуй В. М. Наземно-болотный этап фоссилизации растительных смол. “Від смоли хвойних до бурштину. Ідентифікація викопних смол” / В. М. Мацуй // 36. матеріалів наукового семінару, 17 травня 2012, Київ, Національний науково-природничий музей НАН України. — К., 2012. — С. 41–50.
8. Металогенічна карта України / В. А. Колосовська, В. Я. Великанов, А. С. Войновський [та ін.]. // Державна Геологічна служба України. Комплект карт геологія і корисні копалини України. Головний редактор Д. С. Гурський. Масштаб 1:1 000 000. Редактор карти Д. С. Гурський — К., 2007 р.
9. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых. Под ред. акад. НАН Украины В. И. Лялько и докт. тех. наук М. А. Попова. — Киев, Карбон-Лтд, 2012, 436 с. ISBN 978-966-1692-09-0.
10. Тектонічна карта України. С. С. Круглов, Ю. О. Арсірій, О. Б. Бобров [та ін.]. // Державна Геологічна служба України. Комплект карт геологія і корисні копалини України. Головний редактор Д. С. Гурський. Масштаб 1:1 000 000. — К., 2007 р.
11. Тяшкевич И. А. 40 лет развития дистанционного зондирования природных ресурсов Беларуси [Електронний ресурс] / И. А. Тяшкевич. — Режим доступу: <http://www.kosmoaerogeology.by/2009-12-12-01-36-16/content>. Назва з екрану. — Дата звернення: 01.11.2015.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БУЧАКСКИХ БУРОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДНЕПРОВСКОГО БАСЕЙНА НА ОСНОВЕ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Н. В. Пазинич, Л. П. Лищенко, А. Н. Теремченко

В статье рассмотрены возможности использования материалов дистанционного зондирования Земли при составлении региональной неотектонической картосхемы Днепроовского бассейна с целью прогнозирования распространения буровугольных отложений, связанных с относительно опущенными блоками Украинского щита.

Ключевые слова: Днепробасс, бурый уголь, космические снимки, цифровые модели рельефа, линеаменты, неотектонический анализ

THE USE OF REMOTE SENSING AND GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR PREDICT OF THE SPREAD OF DNEPER BASIN BUCHAK'S LIGNITE DEPOSITS ON THE BASIS OF NEOTECTONIC ANALYSIS

N. V. Pazynych, L. P. Lischenko, A. N. Teremenko.

The article examines the possibility of using remote sensing data in the preparation of regional neotectonic schematic map Dnieper basin in order to forecast the spread of lignite deposits associated with relatively lowered blocks of the Ukrainian Shield.

Keywords: Dniprobass, lignite, satellite imagery, digital elevation model, lineaments, neotectonic analysis

УДК 504.064.2:528.88.04

Мультидисциплінарний аналіз аерокосмічної і наземної інформації при оцінці стану водних екосистем на основі методів системного аналізу

О. Д. Федоровський¹, А. В. Хижняк¹, О. В. Томченко^{1*}, Л. М. Зуб², Л. В. Підгородецька³, Т. М. Дьяченко⁴, А. М. Шевченко⁵, О. В. Власова⁵, А. Я. Ходоровський¹, В. Г. Якимчук¹

¹ ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

² Інститут еволюційної екології НАН України, Київ, Україна

³ Інститут космічних досліджень НАН України, Київ, Україна

⁴ Інститут гідробіології НАН України, Київ, Україна

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НАН України, Київ, Україна

У статті розглянуто результати мультидисциплінарного підходу до аналізу аерокосмічної та наземної інформації при оцінці стану водних екосистем на основі методів системного аналізу з використанням даних, отриманих в суміжних наукових галузях знань: екології, гідробіології, гідрології, гідрохімії, геології, гідромеліорації.

Ключові слова: ДЗЗ — дистанційне зондування Землі, геомоніторинг, ПТК — природні територіальні комплекси, ВВР — вища водна рослинність, гідробіологія, гідрологія, гідрохімія, геологія, гідромеліорація, якість води

© О. Д. Федоровський, А. В. Хижняк, О. В. Томченко, Л. М. Зуб, Л. В. Підгородецька, Т. М. Дьяченко, А. М. Шевченко, О. В. Власова, О. Я. Ходоровський, В. Г. Якимчук. 2015

Вступ

Оцінка стану водних екосистем в умовах техногенезу є основною проблемою раціонального використання водних ресурсів, охорони і відновлення їх природного стану. Так, на межі тисячоліть, екологічне оздоровлення басейну р. Дніпро стало одним з пріоритетних напрямків природоохоронної діяльності уряду України, адже його водні ресурси становлять 80% водних ресурсів України, забезпечуючи водою понад 32 млн населення та 2/3 господарського потенціалу країни.

Головним завданням міжнародної програми спостереження за кліматом Global Climate Observing System (GCOS) є, поміж іншим, забезпечення необхідними методиками і комп'ютерними програмами для виявлення ресурсів води високої якості; змін у гідробіологічному різноманітті; аналізу ступеня загрози водним екосистемам тощо. Таким чином, комплексне застосування аерокосмічних і наземних досліджень у поєднанні з інтерпретацією результатів на основі методів системного аналізу становить значний інтерес, так як дозволяє вирішувати численні питання щодо моніторингу водних екосистем [11].

Використання інформації космічного геомоніторингу дозволяє не тільки оперативно отримувати зображення водних об'єктів, що займають великі площі, а й фіксувати зміни їх характеристик у часі та просторі. Так, дешифрування космічних знімків водних об'єктів дозволяє за рядом ознак визначити особ-

ливості гідрографічної мережі та гідрологічного режиму, тип біотопів, аквальні ландшафти та їх структуру. За супутниковими знімками можна досить впевнено виділити ділянки заболочування і заростання, обчислювати площі, зайняті вищою водною рослинністю (ВВР) і незарослі акваторії, відслідковувати розвиток явищ "цвітіння води" [12, 32].

Мета даної статті — обґрунтувати мультидисциплінарний науковий напрям дистанційних аерокосмічних досліджень при оцінці стану водних екосистем на основі методів системного аналізу і результатів дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та наземних досліджень з використанням знань із суміжних наукових дисциплін: екології, гідробіології, гідрології, гідрохімії, геології та гідромеліорації.

Водні об'єкти представляють собою складні системи, аналіз яких відбувається на різних рівнях абстрактного опису з урахуванням ієрархії їх складових: ландшафтних комплексів, гідрологічних, геологічних, гідробіологічних та гідрохімічних характеристик. При цьому оцінка екостану водного об'єкта відбувається на основі узагальненого критерію, фактично інтегруючого результати досліджень, отриманих в різних наукових напрямках [18, 27].

У літературі можна зустріти різні назви і визначення процесу інтеграції знань з різних наукових дисциплін при вирішенні конкретних тематичних завдань: міждисциплінарні, мультидисциплінарні та трансдисциплінарні наукові методи або підходи. Методичні складові цих визначень багато в чому схожі [13].

Для дистанційних аерокосмічних досліджень в

* e-mail: tomch@i.ua

природокористуванні пропонується [18] процес інтеграції наукових знань називати: “мультидисциплінарний науковий напрям” з визначенням методичної основи, як: інтеграція теоретичних положень, методів і моделей, інформаційних матеріалів та експериментальних результатів з різних наукових дисциплін на основі методів системного аналізу (рис.1).

Методи системного аналізу

Розробка та впровадження методів й моделей системного аналізу в технологію використання матеріалів аерокосмічної зйомки сприяють розширенню функціональних можливостей космічного моніторингу і створюють методичну основу для формування нового науково-методичного напрямку вирішення завдань природокористування — інтеграції наукових результатів, отриманих у суміжних наукових дисциплінах. За допомогою методів системного аналізу обґрунтовуються найбільш раціональні математичні моделі використання космічної інформації при вирішенні тематичних завдань природокористування, моделюється та прогнозується розвиток процесів, що досліджуються.

Зокрема, інтегральна оцінка стану водних екосистем виконувалася за усіма складовими біотопу та їх змінами відносно попередніх років дослідження на основі *методу багатокритеріальної оптимі-*

зації (Multi-objective optimization) [27]. Узагальнений критерій (функція приналежності F) обчислювався за показниками всього комплексу гідробіологічних, гідрологічних, гідрохімічних та гідрогеологічних досліджень. Коефіцієнти впливу кожного показника стану водного об'єкта визначалися методом аналізу ієрархій.

Розглянемо, в загальному вигляді, алгоритм багатокритеріальної оптимізації для оцінки екологічного стану водних об'єктів. Для цього введемо наступні умовні позначення [25]:

A — стан водного об'єкта у попередній період чи рік, прийнятий за еталон. У загальному вигляді його стан можна описати як: $A = \{a_1, a_1, \dots, a_j, \dots, a_n\}$, де, a_j — нумерація j -ї складової від 1 до n .

B — стан водного об'єкта в поточному періоді досліджень, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_n\}$, де b_j — нумерація j -ї складової від 1 до n .

Оцінка екологічного стану водного об'єкта можлива при виконанні наступної умови:

$$b^* = a \cap b \neq \emptyset.$$

Ця умова говорить про те, що в множині характеристик складових водного об'єкта обов'язково є характеристики b^* , які необхідні для порівняння з характеристиками складових того ж об'єкта в період стану, який прийнятий за еталон.

При цьому можливі такі випадки:

1. $b^* = a$, $a \neq b$ — зазначення перетинання збігається

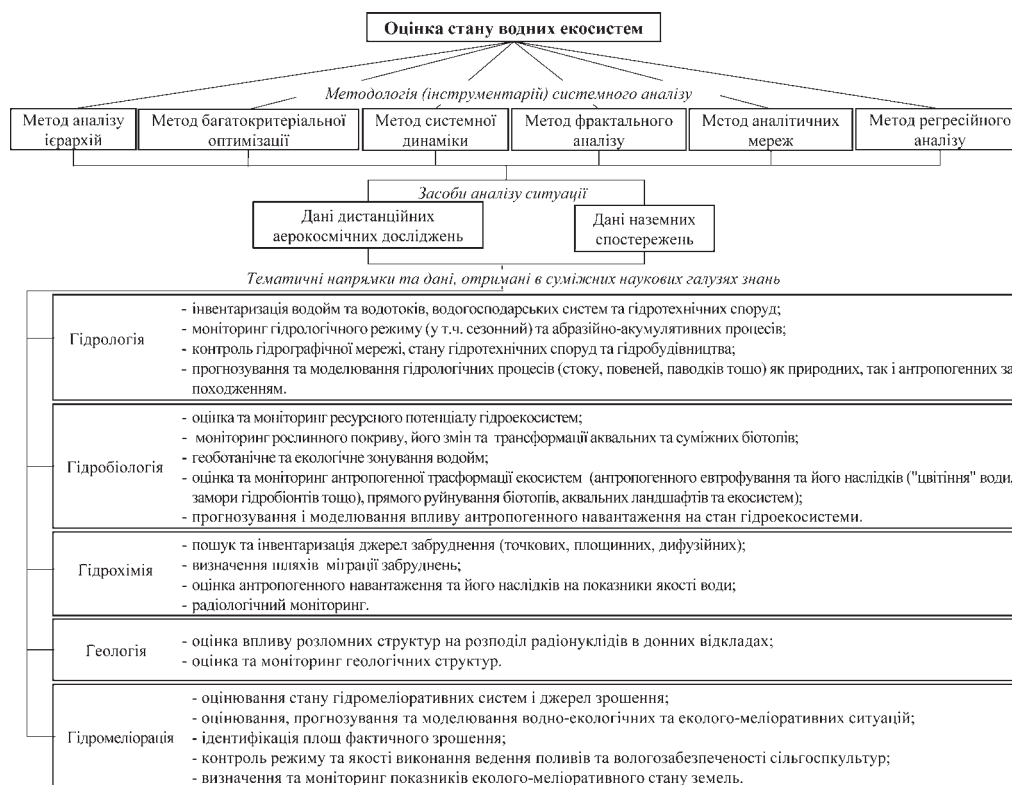


Рис. 1. Концептуальна схема мультидисциплінарного аналізу аерокосмічної і наземної інформації при оцінці стану водних екосистем методами системного аналізу

з множиною a , відповідає тому, що перелік характеристик, що порівнюються за еталонний період і на момент дослідження повністю збігаються;

2. $b^* = b, a \neq b$ — перетинання збігається з множиною b , це відповідає тому, що характеристик, що порівнюються на момент дослідження не достатньо для порівняння з характеристиками того ж таки об'єкта в попередній період;
3. $b^* = a = b, \tilde{A} = A = A^*$ — множини a і b збігаються, це означає що значення характеристик об'єкта, що порівнюються за еталонний період і на момент дослідження повністю збігаються.

Завдання дослідження полягає у встановленні, наскільки сучасний стан водного об'єкта відрізняється від його стану за попередній період або рік, прийнятий за еталон. Для вирішення таких завдань використовуються алгоритми, засновані на обчисленні оцінок, що складаються з наступних етапів: введення функції близькості порівнюваних величин, обчислення оцінки для функції близькості — функції відповідності, обчислення оцінок для класу по опорному безлічі.

Функція відповідності описує ступінь збігу значень порівнюваних величин. Обчислення оцінок по опорній множині означає врахування ступеня важливості, представленості ознак (складових) для характеристики водного об'єкта, а також визначення близькості між усіма складовими об'єкта досліджень. Вирішальне правило виносить судження про ступінь відповідності цих характеристик.

У нашому випадку описаний вище підхід включає обчислення наступних функцій: близькості S , що характеризує близькість окремих значень характеристик складових водного об'єкта за поточний і попередній періоди;

- відповідності f , яка показує ступінь відповідності значень кожної характеристики всіх складових об'єкта за поточний і попередній періоди;
- приналежності F , яка показує ступінь приналежності кожної складової водного об'єкта за поточний і попередній періоди;

Близькість значення параметру a до параметру b визначається за допомогою функції близькості — $S_j(b_j, a_j)$ для наступних випадків:

$$S_j(b_j) = (\bar{a}_j - b_j) / \bar{a}_j, \text{ для випадку } b_j < \bar{a}_j$$

$$S_j(b_j) = 0, \text{ для випадку } \bar{a}_j \leq b_j \leq \underline{a}_j$$

$$S_j(b_j) = (b_j - \bar{a}_j) / b_j, \text{ для випадку } b_j > \bar{a}_j.$$

Отже оцінка водних об'єктів може бути формалізована як задача багатокритеріальної оптимізації m критеріїв, кожний з яких виступає як функція відповідності характеристики b параметру a .

У випадку, коли для якої-небудь складової буде відсутній відповідний параметр, тоді $S(b_j, a_j) = 1$.

Функція відповідності: $f(b_j, a_j) = [1 - S(b_j, a_j)]$;

Функція приналежності $F(b_j, a_j)$:

$$F(b_j, a_j) = \sum_{j=1}^n \rho(b_j, a_j) \cdot [1 - S(b_j, a_j)]$$

де: $\rho(b_j, a_j)$ — вагові коефіцієнти, $j = 1 - n$.

Для оцінки вагових коефіцієнтів складових водних об'єктів використовувався метод експертних оцінок, а саме *метод аналізу ієрархій* (Analytic Hierarchy Process) [16, 17]. Для цього формулюється цільова функція, яка ділиться на більш прості складові — показники, що об'єднуються у відповідні ієрархічні рівні. Завдання першого рівня полягає у формуванні мети, яка буде досягнута в процесі розв'язання задачі. Коли розглянута проблема представлена ієрархічно, для формалізації експертної процедури будується множина матриць попарних порівнянь для кожного рівня і за кожною складовою даного ієрархічного рівня. Проводиться їх нормалізація і оцінка векторів пріоритетів з урахуванням ступеню їх впливу на складові попереднього рівня. Обробка матриць, наприклад, чотирьох рівнів дає можливість вирахувати вектори пріоритетів відповідних рівнів K^1, K^2, K^3 і K^4 , компоненти яких визначають їх пріоритети з точки зору експерта.

Метод аналізу ієрархій дозволяє сконструювати необхідну цільову функцію та оцінити ступінь впливу на неї кожної з характеристик досліджуваної системи. Якщо отримані всі необхідні вагові коефіцієнти, то формула згортки узагальненого критерію для порівнюваних варіантів має вигляд:

$$F_{\text{коэф}} = \sum K_l^1 \sum K_m^2 \sum K_r^3 \sum K_p^4 \cdot x_p^s,$$

де верхній індекс критеріального пріоритету позначає рівень ієрархії; x_p^s — коефіцієнт переваги варіанта s за показником p .

Значення $F_{\text{коэф}}$ дозволяє встановити переваги того чи іншого альтернативного варіанта системи за всією сукупністю аналізованих факторів. Наприклад, дати порівняльну оцінку вагових коефіцієнтів складових водних об'єктів.

Нові можливості для отримання об'єктивної геодинімічної інформації на основі реальних даних відкриває *метод фрактального аналізу* (Fractal analysis) [3], який дає оцінку конфігурації і структури досліджуваного процесу або об'єкта, періодичності розподілу геометричних, фізичних та інших характеристик. Введення мультифрактальних параметрів дозволяє оцінити ступінь упорядкованості і стійкості системи до зовнішнього впливу, що неможливо визначити звичайними іншими статистичними методами. В якості кількісної міри, яка описує структуру складових об'єкта, прийнято використовувати фрактальну розмірність Ренні — D_q , яка показує наскільки щільно і рівномірно елементи даної множини заповнюють евклідовий простір. Значення D_q — інваріантне до розміру вибірки, площі, масштабу.

Можливість використання фрактального аналізу для оцінки варіабельності складових досліджуваного об'єкта встановлювалося перевіркою виконання двох умов: по-перше, степеневою залежністю зростання компонентів статистичної суми Z_q від розміру вибірки N і, по-друге, не зростаючим видом функції спектра узагальнених розмірностей D_q , динаміка змін яких характеризує закономірності росту і еволюції процесу.

$$Z_q(N, q) = \sum_{i=1}^n p_i^q, \quad p_i = \frac{N_i}{N}, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1.$$

$$D_q = \frac{\tau(q)}{1-q} \quad \text{при } q \neq 1, \quad \text{де } \tau(q) = \frac{\log \sum_{i=1}^n p_i^q}{\log N}.$$

Для моделювання інтегральних процесів в екосистемі використовується основні принципи системної динаміки, а саме *метод адаптивного балансу впливів* (*method of adaptive balance of causes — ABC*), який дозволяє моделювати і прогнозувати розвиток складних систем і виконувати обчислювальні функції з урахуванням взаємодії всіх модулів, кожен з яких знаходиться в стані динамічної рівноваги [21]. Рівновага підтримується функціями впливу, які пов'язують даний модуль з іншими модулями системи. Режим динамічного балансу впливів всередині системи зберігається під управлінням зовнішнього впливу на систему

Відповідно до методу ABC через кожен рівень X_i проходить потік відповідної компоненти. Вхідний в рівень і вихідний з нього потоки регулюються ланцюгами зворотних зв'язків через швидкість потоків, які виникають під впливом функцій внутрішньосистемних зв'язків і зовнішнього впливу.

Основні положення ABC-методу полягають у наступному:

- структура складної системи формується з універсальних модулів і функцій впливу, а також допоміжних елементів;
- керована система та її окремі модулі знаходяться в стані динамічного балансу, підтримуваного зовнішніми впливами на систему;
- порівняння модельних і фактичних сценаріїв розвитку за деякий період часу дозволяє ввести статистику відхилень, тобто оцінити якість управління;
- дані спостережень засвоюються в чисельному алгоритмі розрахунків прогностичних сценаріїв і забезпечують адаптацію модельних сценаріїв до реальності.

Методика полягає в розробці концептуальної моделі та формуванні схеми причинно-наслідкових зв'язків між елементами системи, на підставі якої створюється системна діаграма моделі. Причинно-наслідкові зв'язки в моделі зображуються за допомогою функцій впливу через відповідні потоки, які забезпечують взаємний вплив компонентів вектора стану системи (модулів X_i) і динамічну рівновагу

системи. Формалізація моделі полягає в отриманні математичних рівнянь, які виражають адаптивний баланс впливів усередині системи.

Основні рівняння методу висловлюють баланс значень процесу (x), обумовлених впливом на нього з боку інших процесів:

$$dx_i/dt = [1 - 2F^{(+)}(a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{im}x_m + x_i)],$$

де a_{is} — коефіцієнти рівнянь моделі (далі коефіцієнти), які враховують вплив складової s на складову i і зберігають постійне значення в вибраному інтервалі часу.

Рівняння стає найбільш простим у разі вибору базової функції впливів $F^{(+)}$ у формі параболи, яка асимптотично наближається до одиниці. При цьому рівняння стає лінійним і набуває вигляду

$$\frac{dx_i}{dt} = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{i,j-1}x_{j-1} + a_{i,j+1}x_{j+1} + \dots + a_{im}x_m - x_i,$$

де t — часовий або просторовий аргумент процесу.

Коефіцієнти впливу a_{ij} в рівнянні моделі можуть бути ідентифіковані двома основними шляхами: за оцінками експертів і на основі статистичної обробки архівних даних.

Гідробіологія

Основним компонентом та найбільш чутливою ланкою біоти більшості водних екосистем є вища водна рослинність, як представник базового трофічного й середовищестроючого рівнів. Склад і структурні особливості рослинності визначають структуру мілководних ландшафтів водойми, формуючи певні природні територіальні комплекси (ПТК), і слугують універсальними індикаторами екологічного стану як самої водойми, так і водозабору загалом. Участь рослинних угруповань у комплексі внутрішньоводоймних процесів можна умовно розділити на три напрямки: перший — механічний (хвильоруйнівна та седиментаційна функція зарослової зони), другий — трансформуючий (накопичення, трансформація та захоронення забруднюючих, що визначають потенціал водойми до самоочищення від забруднень) і третій — продукційний. Зарості водних рослин, певною мірою, є інтегральним показником екологічного стану водойми, за їх якісними та кількісними показниками можна отримати досить повне уявлення про цілу низку абіотичних складових водного середовища, зокрема, рівні рН, навантаження середовища біогенними речовинами (трофність водойми), трансформацію гідрологічного режиму, наявність забруднень.

Флористичний склад вищих водних рослин у водоймищах України представлений більш ніж 150 видами, що формують понад 160 угруповань та їх різновидностей. Важливість ролі водної рослинності у формуванні якості води й біологічної про-

дуктивності водойм обумовлює необхідність проведення систематичного контролю за її розвитком, особливостями горизонтального й вертикального розподілу, якісними й кількісними змінами в часі й у просторі під впливом зовнішніх факторів. У перелік задач моніторингу входить вирішення наступних завдань [5]:

- оцінка змін у якісному складі, структурі угруповань та кількісних показниках запасів фітомаси;
- відслідковування динаміки змін площ заростання;
- виявлення джерел забруднень та особливостей міграції забруднень по водоймах;
- визначення сучасного і прогноз екологічного стану водних об'єктів.

Перелічені завдання успішно вирішуються за допомогою космічного геомоніторингу. Космічні знімки, по-перше, забезпечують можливість вивчення особливостей оселищ рослинних угруповань: характер берегової лінії, тип мілководь, наявність заплавних водойм, обмілин, рукавів, інтенсивність водообміну тощо. По-друге, дозволяють виокремити й обчислити площі заростей вищої водної рослинності (ВВР). Крім того, космічні знімки, отримані в різних спектральних діапазонах, виконують роль реальної картографічної основи, що забезпечує екстраполяцію даних наземних і підсупутникових спостережень.

В основу розроблених у ЦАКДЗ алгоритму й програми водно-рослинних ландшафтних комплексів (VRLK) покладені структурно-функціональні взаємозв'язки біотичних (характеристики рослинних угруповань) та гідролого-гідрохімічні показників як структурних елементів акваторіального ландшафту. Інструментом алгоритму є математичні методи системного аналізу, які успішно застосовані для систематизації інформації. Як зазначалося, на водоймах (як природних так і штучних) існує значна кількість комбінацій рослинних угруповань, котрі під впливом зовнішніх факторів безупинно змінюють свою конфігурацію, структуру і обумовлюють, відповідно новим умовам, плавний і безупинний перехід одного типу ПТК в інший. Зазначені обставини і вимагають застосування такого експрес-методу, який при класифікації досліджуваних об'єктів дозволяв би враховувати не тільки перебігу вказаних суцесійних змін, але і проводити біоіндикацію змін середовища. При традиційному підході до класифікації зарослих територій приймається бінарне рішення, наприклад, $m = 1$ — у випадку приналежності ділянки до конкретного типу ПТК чи $m = 0$ — неприналежності. Теорія нечітких множин заміняє строгу приналежність досліджуваної ділянки до якого-небудь типу ПТК на безупинну функцію приналежності до кожного ПТК [32].

Для реалізації методу використовуються математичні моделі різних типів ПТК. Принцип побудови останніх заснований на узагальненні досві-

ду експертів-гідробіологів щодо вивчення розподілу рослинних угруповань рангу асоціації (в трактуванні школи Браун-Бланке) по площі різних типів ПТК для конкретних водних екосистем. У структурі ПТК прийнята бальна шкала Браун-Бланке для опису частки кожного конкретного угруповання. При цьому перша домінанта відповідає 4-му балу по шкалі Браун-Бланке, що свідчить про те, що угруповання даної асоціації займає 50–75% від загальної площі ПТК. Друга домінанта відповідає 3-му балу (площа угруповань асоціації 25–50%) і т. д. Практика показала, що виставлення балів за шкалою Браун-Бланке не є однозначною процедурою. Так, наприклад, якщо частка $S = 55\%$, то віднести її до 1-ї домінанти можна лише з певною умовністю. Щоб обійти цей недолік, кожному бальному класу шкали Браун-Бланке було поставлено у відповідність функцію приналежності, що приймає значення 1, якщо площа покриття попадає в середину бального інтервалу, і 0.5, якщо значення цієї площі знаходиться на краю інтервалу. Процес рішення задачі визначення типу ПТК складається з трьох етапів: створення бази даних можливих типів ПТК для наступної машинної обробки; визначення за супутниковим знімком переліку зафіксованих наземними спостереженнями рослинних угруповань і обчислення займаних ними площ; визначення функції приналежності досліджуваної ділянки до кожного типу ПТК і виявлення бажаного типу за максимальним значенням функції приналежності [28].

Якщо донедавна розробка дистанційних методів контролю акваторій типів ПТК зводилася головним чином до вивчення змін концентрації хлорофілу фітопланктону як індикатора біологічної продуктивності акваторій за даними оптичного діапазону, то в даний час для досліджень зарослих акваторій ландшафтів широко використовуються також матеріали, отримані в ІЧ і УФ-зонах спектра.

Кожна дешифрувальна ознака використаних знімків залежно від просторової розрізненості на місцевості віддзеркалює конкретний ландшафтний індикатор чи їх комплекс. На космічних знімках низької просторової розрізненості фіксуються загальні генералізовані риси типів ПТК. Наприклад, фототон може характеризувати стан рослинного покриву у цілому, зволоженість ґрунтів чи ступінь горизонтального розчленовування рельєфу; текстура й рисунок зображення — специфіку ґрунтового покриву, розподіл видового складу заростей й т. д. Ця істотно різна інформація повинна аналізуватися під кутом зору поставленої задачі, а виділені в процесі дешифрування одноозначкові аномалії позначати передбачуваний зв'язок: дешифрувальна ознака — ландшафтний індикатор — елемент прогнозованої структури. Знімки високої просторової розрізненості дозволяють на основі аналізу від-

мінностей елементів ландшафту, зафіксованих у зображенні, виявити границі співіснування окремих угруповань, а, почасти, і видів рослинності.

При дистанційних аерокосмічних дослідженнях ряду водних об'єктів для оцінки їх екологічного стану були обрані найбільш репрезентативні біологічні складові, які надійно дешифруються за космічними знімками на основі яких були сформовані індикаторні критерії. Так, при дослідженні озера Світязь за період 1988–2009 рр. [2] у його зарослевій зоні були виділені наступні складові-індикатори (рис. 2): прибережні чагарниково-болотні комплекси; водно-болотні комплекси; непорушені прибережні піщані мілководдя; літоральні комплекси “водних” очеретів; літоральні комплекси рдесників; деградовані прибережні піщані мілководдя. Додатково були проаналізовані показники середньої температури води за літній період та рівень води по роках. На основі вибраних складових і проведених мультифрактальних досліджень матеріалів дешифрування космічних знімків як критерій оцінки екологічного стану озера Світязь було прийнято фрактальна розмірність D_q при $q = -4$, коефіцієнт кореляції якої з експертними оцінками по роках дорівнював $r = 0.78$ [14].

Для отримання оцінки якості води верхів'я Київського водосховища був обраний узагальнений критерій методу багатокритеріальної оптимізації [23]. За результатами дешифрування і аналізу космічних знімків Landsat за період з 1989 по 2013 рр. (рис. 3) було виділено основні біотопи водно-болотних угідь (ВБУ) верхніх ділянок водойми, а саме: лісові біотопи (заплавні листяні ліси та штучні хвойні насадження); заплавні луки; ВВР (прибережні перезволожені біотопи та біотопи вищих гідрофітів); прибережні незарослі або слабозарослі

піщані біотопи; відкрита водна поверхня та отримані дані щодо динаміки їх площ через кожні 2 роки. Далі на основі площ виділених біотопів була обчислена функція приналежності, що характеризувала якість води.

В ході аналізу було встановлено, які саме типи біотопів позитивно і негативно впливають на якість води. Так, параметри максимізуються, коли збільшення показника впливає на якість води позитивно і мінімізуються, коли позитивно на якість води впливає зменшення показника. Заключним етапом розрахунків було отримання функції приналежності як суми функцій відповідності всіх параметрів складових за кожен рік дослідження в порівнянні з 1989 р., прийнятим за еталон. В таблиці 1 наведені значення функції приналежності $F_{ДЗЗ}$, отримані за результатами дешифрування космічних знімків, які відображають зміну якості води Київського водосховища в бік незначного погіршення за фізико-хімічними характеристиками [22, 24].

Наступним кроком було визначення ступеня взаємозв'язку між динамікою заростання Київського водосховища вищою водною рослинністю та даними гідрохімічних досліджень (за матеріалами наземних статистичних спостережень держгідрометслужби (ДГМС)). В результаті розрахунків було отримано взаємозв'язок функцій приналежності $F_{ДЗЗ}$ та $F_{назем}$, що становить 0.7 за коефіцієнтом кореляції Пірсона, і є цілком достатнім аргументом для підтвердження доцільності оперативного контролю якості води на основі матеріалів ДЗЗ на відміну від трудомістких наземних спостережень.

Виконані дослідження, як у випадку озера Світязь, так і Київського водосховища, свідчать про наявність статистичної залежності між наземними, в тому числі, експертними оцінками екологічного

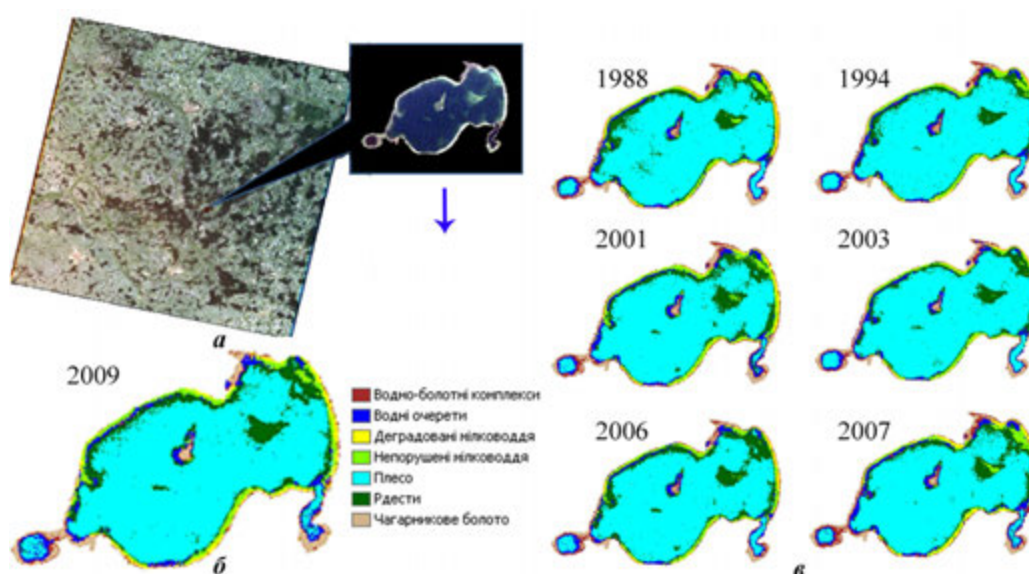


Рис. 2. Карти розподілу ПТК оз. Світязь за 11 років (а — космічний знімок Landsat 5 за 2009 рік; б — карта розподілу ПТК оз. Світязь за 2009 р.; в — ретроспективний ряд карт розподілу ПТК оз. Світязь з 1988 по 2007 рр.)

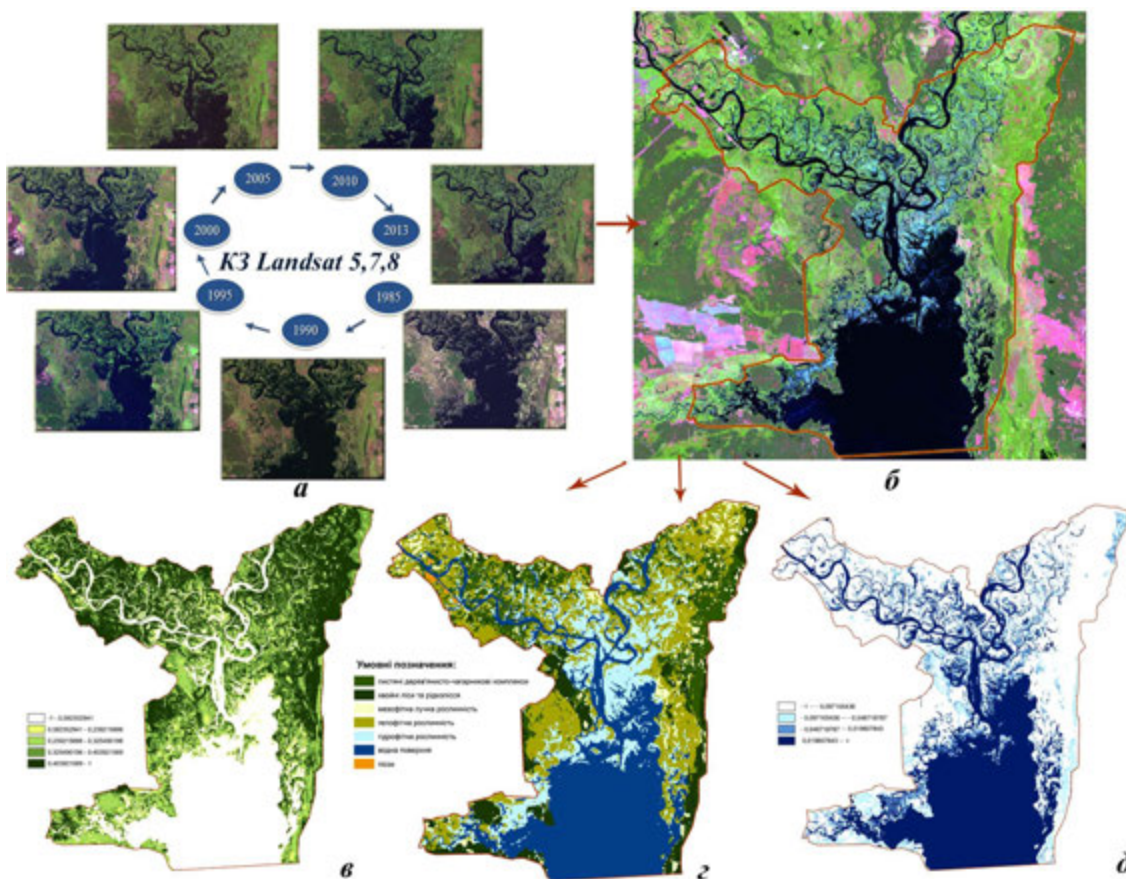


Рис. 3. Дешифрування космічних знімків середньої просторової розрізненості та складання карт біотопів ВБУ Київського водосховища: а — ретроспективний ряд КЗ Landsat з 1985 по 2013 рік; б — космічний знімок Landsat 8 (дата зйомки 13.08.2013); в — розподіл значень нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI); г — карта біотопів ВБУ Київського водосховища станом на 13.08.2013 р.; д — розподіл значень нормалізованого водного індексу (NWI)

Таблиця 1.

Значення узагальненого критерію оцінки якості води Київського водосховища за даними ДЗЗ та наземних спостережень ДГМС

Роки	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013
F(ДЗЗ)	1.000	0.976	0.965	0.941	0.961	0.874	0.839	0.811	0.764	0.825	0.831	0.807	0.727
F(назем.)	0.973	0.761	0.606	0.486	0.431	0.410	0.432	0.370	0.354	0.343	0.399	0.448	0.464

стану водних об'єктів та оцінками, здійсненими за космічними знімками з подальшою обробкою отриманих даних методами фрактального аналізу та багатокритеріальної оптимізації.

Гідрологія

Функціонування водних екосистем багато в чому пов'язано з впливом гідрологічних умов на складові компоненти екосистем. Як показали дослідження, рівень і ступінь проточності водойм є факторами, що найбільш істотно впливають на стан водної екосистеми як середовища існування біоти, а також на якісні характеристики води. Змінюючи внутрішній і зовнішній водообмін, рівень води, швидкість течії, можна регулювати самоочисну здатність і біопродуктивність водойм. Щоб реалізувати таку мож-

ливість, необхідно знайти кількісні залежності показників екологічного стану водойм і якості води в них від зазначених елементів водного режиму, який є лише складовою частиною загального комплексу факторів, що визначають стан екосистеми. У цей комплекс входять фізико-географічні характеристики водойм і їхніх водозборів, хімічні, біохімічні і біологічні аспекти формування якості вод, антропогенний вплив і т. д. Таким чином, регулювання водного режиму з метою зміни в потрібному напрямку яких-небудь характеристик водних екосистем повинно погоджуватися з загальною концепцією керування станом екосистеми. При цьому необхідно забезпечити наукову обґрунтованість і доцільність пропонованого рішення, технічну й економічну реальність його реалізації, розрахувати ефективність важелів впливу.

В роботі [29] приведена модель, що описує взаємозв'язок гідрологічних показників (площа водного дзеркала, інтенсивність водообміну, тип мілководь, наявність заплавних водойм тощо) з параметрами, що їх характеризують. Віднесення сукупності гідрологічних параметрів, що характеризують досліджувану ділянку гирла річки, до j -ого типу гідрології виробляється на основі обчислення функції приналежності F_{zi} у відповідності з виразом

$$F_{zi} = \exp \left[- \sum_{i=1}^N \left(\frac{\bar{R}_{ij} - R_i}{2 \cdot \Delta R_{ij}} \right)^2 \right],$$

де: R_i — нормоване (за умовою $\sum_{i=1}^N R_i = 1$) значення i -го параметра гідрології на ділянці, наприклад, площа водного дзеркала; $\bar{R}_{ij}$ — середина бального інтервалу i -го параметра в j -ому типі гідрології; ΔR_{ij} — ширина інтервалу i -го параметра; $i = 1, 2, \dots, N1$; $j = 1, 2, \dots, M1$. В тому випадку, коли параметри задаються дискретним рядом, в формулі F_{zi} на заміну ΔR_{ij} використовуються вагові коефіцієнти b_{ij} , а $\bar{R}_{ij}$ буде відповідати значенням ряду.

На основі цієї моделі визначаються елементи гідрологічного режиму. Віднесення досліджуваної ділянки до конкретного типу гідрологічних параметрів проводиться за максимальним значенням функції приналежності. В таблиці 2 наводиться перелік типів гідрології гирлових зон Дніпра, кожному з яких відповідає певний перелік апріорної інформації про ПТК, гідрохімічних параметрів, якості води і характеру нерестовищ [15].

На основі розроблених математичних моделей для мезокомбінацій, гідрологічних умов, типів зарослих водною рослинністю ПТК і гідрохімічних параметрів створено алгоритм, який дозволить в автоматичному режимі класифікувати сукупність гідрологічних умов і аналізувати екологічний стан різних водних екосистем [29].

Описані методика і розроблена програма були випробувані на прикладі класифікації водної рослинності і визначення якості води в гирловій зоні ріки Прип'яті [31]. На космічному знімку (рис. 4а), супутника "Океан-О" (прилад МСУ-В) дешифрувальником-гідробіологом фіксувалися елементи різної гідрології і підраховувалися їхні площі.

Результати дешифрування були використані як вхідна інформація для класифікації за допомогою розробленої програми виділених рослинних угруповань за типами ПТК.

У результаті обчислень досліджувані ділянки були віднесені до 12 типів ПТК. За розподілом останніх у гирловій зоні ріки було дано якісну оцінку хімічного складу води. За останньою у відповідності з існуючою методикою (Оцінка якості поверхневих вод суші і естуаріїв України КНД 211.1.4.010-94) були виділені ділянки з різною якістю води.

На рис. 4 б приведена карта якості води, що ілюструє результати проведених досліджень. Провірність отриманих оцінок якості води свідчать результати наземних контактних вимірів показників гідрохімічного режиму, виконаних Інститутом гідробіології НАН України в період серпень-вересень 2008 р. на 4-й та 5-й ділянках (210 буїв), на 25-й ділянці (Оташево) і на 26-й ділянці (Березова кладь).

Гідрохімія

Формування гідрохімічного режиму вод Київського водосховища відбувається під впливом багатьох факторів, основними з яких є гідрометеорологічні умови (температура, вітер, освітлення), гідрологічний режим (наявність або відсутність водообміну, рівневий режим), типи ґрунтів та життєдіяльність водних організмів. За період існування Київського водосховища у його гідрохімічному режимі відбулося ряд змін, приміром, середньорічна температура води в ньому зросла на 1.2–1.5°C, а водообмін послабився на 7% [1, 9].

Загалом було проаналізовано 25-річну динаміку 38 гідрохімічних показників ДГМС. Розрахунки коефіцієнтів кореляції з метою оцінки впливу процесів ландшафтоперетворень та перерозподілу площ зарослих мілководь на гідрохімічний режим Київського водосховища показали наявність взаємозв'язків зміни площ зарослих акваторій із значеннями лише ряду гідрохімічних чинників: концентраціями розчиненого у воді діоксиду вуглецю, хлору (висока кореляція) та показниками вмісту іонів міді, біхроматної окислюваності, кольоровості води, вмістом завислих речовин (значна кореляція).

Посилення заростання водосховища, насамперед, впливає на газовий та седиментаційний режим водойми, певною мірою визначає декотрі інгредієнти сольового складу та мікроелементів. Залежності між показниками розчиненого у воді O_2 і зростанням заростей макрофітів не було виявлено. Концентрація розчиненого у воді O_2 має флуктуаційний характер, проте на сучасному етапі спостерігається поступове збільшення його концентрації.

Дослідженням взаємозв'язку гідрохімічних параметрів та розвитку ВВР показали наявність залежності між зміною площ зарослих акваторій та вмістом розчиненого у воді діоксиду вуглецю, хлору (висока кореляція) та показниками біхроматної окислюваності, кольоровості води, вмістом іонів міді та завислих речовин (значна кореляція) (табл. 3).

Найбільш помітною виявилася залежність між зміною зарослих площ та показниками розчиненого у воді діоксиду вуглецю. Варто відмітити, що зміни розчиненого CO_2 є чи не найбільшими серед гідрохімічних показників верхніх ділянок Київського водосховища за останні 25 років вони зросли більш як у 6 разів (з 1.8 до 14.5 мг/дм³). Такі збільшення

Таблиця 2.

Перелік типів гідрології гирлових зон Дніпра

Тип гідрології I	Відкриті прируслові мілководдя, що знаходяться під впливом стокових плинів і вітрохвильової діяльності. Швидкість плин у період паводка досягає 0.6 м/сек у межень — 0.1 — 0.2 м/сек. Промиваемість заростей гарна. Проективне покриття складає 30–60%. Переважають піщані ґрунти.
II	Напівзакриті прируслові мілководдя, зі свіжонамитим піщаним алювієм. Швидкість відкладення алювіальних наносів вище, ніж у попередній групі (2–3 см/рік).
III	Мілководдя на місці розмитих островів центральної заплави. Характеризуються більш вирівняним рельєфом, ніж на прируслових мілководдях. Даний тип рельєфу утворився в результаті слабовиражених акумулятивно-ерозійних процесів.
IV	Відкриті і напівзакриті притерасові мілководдя. Характеризуються більш вирівняним рельєфом заплави. Алювіальні процеси виражені слабо (0.2 мм/рік). Переважають мулистогорфяно-глеєві групи і торфяники.
V	Закриті притерасові мілководдя, цілком ізольовані від основного плесу. Характеризуються обмеженим водообміном і інтенсивними процесами накопичення органічної речовини (мул з рослинним детритом).
VI	Переважають процеси заболочування.
VII	Найбільш підвищені ділянки мілководь, до яких відносяться численні заплавні острови, що у період паводка на 70–80% залиті водою. Переважають утруповання чагарникової і лугової рослинності.
VIII	Ділянки відкритих мілководь прісноводного узмор'я зі значною хвильовою активністю, мулисто-піщаними піщанисто-ракушечниковими і мулисто-черепашниковими донними відкладеннями.
IX	Ділянки відкритих мілководь солоноватоводного узмор'я зі значною хвильовою активністю, мулисто-черепашниковими донними відкладеннями і піщанисто-ракушечниковими донними відкладеннями.
X	Конуси виносу й алювіальні обмілини уздовж рукавів, із практично прісною водою, наявністю плин, мулистими та мулисто-піщаними донними відкладеннями.
XI	Відкриті ділянки прісноводних заток з інтенсивною седиментацією і перевідкладенням наносів.
XII	Відкриті ділянки солоноватоводних заток з інтенсивною седиментацією і перевідкладенням наносів.
XIII	Закриті ділянки прісноводних заток зі слабким водообміном і інтенсивним автосточним мулонакопиченням. Рослинність тут піддана зовнішнім впливам і сама виступає як осреднювальний фактор.
XIV	Закриті ділянки солоноватоводних заток зі слабким водообміном і інтенсивним автосточним мулонакопиченням. Рослинність тут піддана зовнішнім впливам і сама виступає як осреднювальний фактор.
XV	Ізольовані внутрідільтові прісноводні водойми з гіперакумуляцією органічної речовини і припливом свіжої води лише під час повені.
XVI	Ізольовані внутрідільтові солоноватоводні водойми з гіперакумуляцією органічної речовини.
XVII	Екотонні прісноводні ділянки, що окантовують плавневі острови.
XVIII	Солоноватоводні екотонні ділянки міжводною плавневою рослинністю.

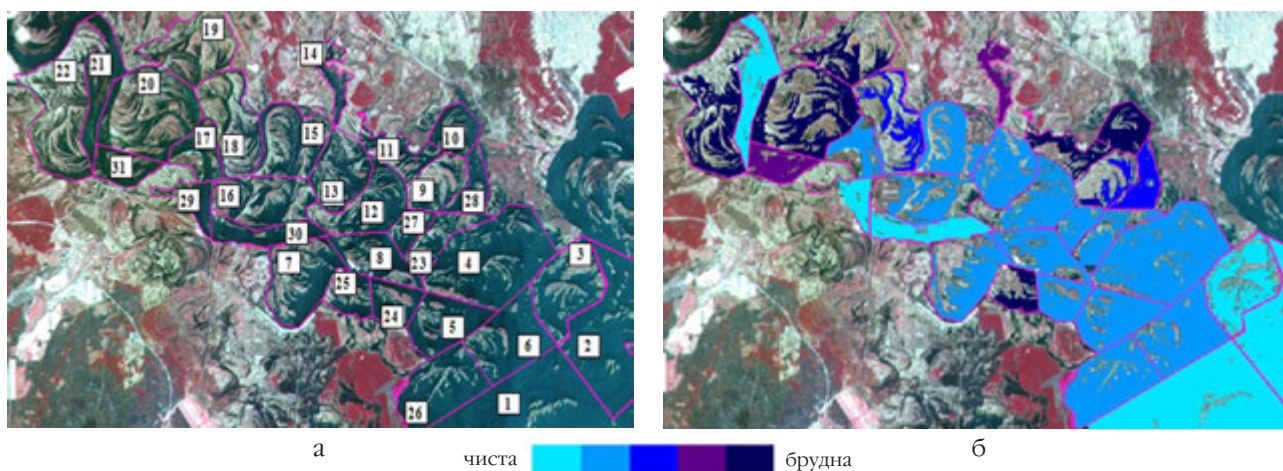


Рис. 4. Фрагмент зображення та картосхеми гирлової зони ріки Прип'яті: а — фрагмент КЗ Landsat 5, на якому цифрами позначені ділянки, у яких контролювалася якість води; б — ділянки різної якості води виділені відповідними тонами

концентрацій розчиненого у воді CO_2 можна пояснити, насамперед, змінами гідрологічного режиму верхніх ділянок водосховища за рахунок уповільнення руху водних мас мілководдями, що інтенсивно заростають.

Впливає на збільшення концентрації розчиненого у воді CO_2 і посилення вторинного забруднення вод в результаті щорічного відмирання величезної кількості рослинних решток. Крім того, аналіз змін площ заростання основних екологічних груп

водної рослинності вказав на активізацію на сучасному етапі процесів евтрофікації та заболочення, що пояснюється інтенсивним протіканням вторинного заплавоутворення. Карбонатний режим водойми обумовлює, зазвичай, зміни величини рН. Вегетація вищої водної рослинності, асимілюючи розчинений у воді діоксид вуглецю, спричиняє зниження його вмісту та впливає на підвищення значень рН. Проте видимого зв'язку між підвищенням кислотності води верхніх ділянок Київського

Таблиця 3.

Величина коефіцієнту кореляції Пірсона між значеннями гідрохімічних показників і площами макрофітів для верхніх ділянок Київського водосховища на період 1986–2013 рр.

Показник	зарості гідрофітів. га	зарості гелофітів. га	загальна площа заростей. га
O_2 (мг/дм ³)	-0.17	-0.09	-0.091
Діоксид вуглецю (мг/дм ³)	0.839	0.65	0.829
pH	0.232	0.461	0.305
$NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^-$ (мгN/дм ³)	0.289	0.265	0.268
NO_3^- (мгN/дм ³)	0.047	0.317	0.401
Фосфор заг. (мгP/дм ³)	-0.022	-0.097	0.053
Хлоридні іони (мг/дм ³)	-0.855	-0.840	-0.893
Сульфатні іони (мг/дм ³)	-0.497	-0.682	-0.538
Сума іонів (мг/дм ³)	-0.464	-0.359	-0.389
Залізо заг. (мг/дм ³)	-0.411	-0.212	-0.5
Мідь (мг/дм ³)	-0.760	-0.742	-0.776
БСК ₅ (мг O ₂ /дм ³)	-0.192	-0.005	-0.114
ХСК (мг O/дм ³)	0.679	0.588	0.657
Калій (мг/дм ³)	-0.163	-0.191	-0.268
Завислі речовини (мг/дм ³)	0.826	0.799	0.859
Кольоровість (градуси)	0.663	0.604	0.755

водосховища та збільшенням площ заростей не виявлено [8].

Вода Київського водосховища, як і води Дніпра та Прип'яті, відноситься до гідрокарбонатного класу, і вміст іонів хлору у ній завжди був незначним. Зростання площ заростей, сприяє ще більшому його зменшенню за рахунок їх акумулюючих властивостей. Адсорбційними властивостями угруповань водних рослин пояснюється і від'ємна кореляція вмісту міді та зростання площ заростей верхніх ділянок водосховища.

В ході дослідження відібрано 7 основних показників гідрохімічного режиму верхніх ділянок Київського водосховища (параметрів), які в подальшому і були використані для розрахунку узагальнених критеріїв оцінки якості води: O_2 , CO_2 , фосфор, завислі речовини, $NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$, ХСК, колір.

Регулярний моніторинг за перерозподілом забруднювачів, насамперед радіонуклідів має винятково важливе значення не тільки для контролю функціонування водних екосистем водоймищ, але і для забезпечення належної якості води.

Розподіл радіоактивного забруднення донних відкладень у заростях вищих водних рослин відбувається нерівномірно. Центральна частина прибережних фітоценозів, яка розташована в глибині заростей на відстані до 20 м від його нижньої границі, є зоною підвищеного вмісту радіонуклідів. Так, для Київського водосховища, на цих ділянках вміст Sr^{90} у 4–40 разів, а $Cs^{134} + Sr^{90}$ у 2–26 разів перевищував рівень радіоактивного забруднення донних відкладень у порівнянні з іншими ділянками заростей, а також із такими, де відсутні зарості рослин. У заростях занурених рослин (рдести) радіоактивне забруднення донних відкладень вище, ніж на чистій воді у 3.5 рази для Sr^{90} і в 2.5 рази для $Cs^{134} + Cs^{137}$.

У процесі росту вищі водні рослини, крім радіонуклідів, поглинають із ґрунту й води біогенні елементи (азот, фосфор, калій й ін.), також мікроелементи, у

тому числі ті, що належать до важких металів. Цим поглинанням виконується важлива функція консервації та трансформації забруднювачів та очищення й кондиціонування води. Проте, сезонне відмирання рослин чи падіння рівня води водойм, що обумовлює осушення літоралі й одночасне відмирання рослинності спричиняють залпове повернення у воду (при повторному затопленні) зв'язаних біомасою біогенних елементів.

Найбільш тривалий період зв'язують біогенні елементи повітряно-водні рослини. По-перше, вони розвивають могутню кореневу систему, що складає 30–60%, а іноді 70–80% загальної біомаси, що не відмирає до кінця вегетації. Тому, незважаючи на активний весняний відтік із кореневої системи біогенних елементів для формування надземних пагінців, значна кількість цих речовин залишається в біомасі кореневища й разом із придатковими коренями й старими кореневищами йде в більш глибокі шари донних відкладень, тобто хорониться. Саме ця група рослин найбільше чітко контролюється дистанційними методами при зйомках у період вегетації.

Для інтегральної оцінки забруднення води був обраний критерій на основі методу багатокритеріальної оптимізації — $F_{\text{назем}}$. При цьому кореляція сумарного показника хімічного забруднення води (ПХЗ-10) й отриманого значення функції приналежності $F_{\text{назем}}$, та обчислених за період з 1989 по 2013 рр. становить 0.94. Це доводить, що отриманий таким чином узагальнений критерій оцінки хімічного забруднення води може бути використаним на рівні з показниками інтегральних індексів розрахованими загальноприйнятими методами [26].

Геологія (розподіл радіонуклідів у Київському водосховищі)

Відомо, що важливу роль в накопиченні і розподілі радіонуклідів (РН) у донному геологічному відкладі водойм відіграє рельєф дна, який в основ-

ному визначається розломними структурами. Тому вивчення у сучасному рельєфі розломів, а також обмежених ними блоків земної кори допоможе зрозуміти особливості літоральної міграції донного геологічного відкладу. Крім того, у зонах розломів відбувається інтенсивна фільтрація води з розчинними у неї компонентами [12]. Ці явища мають особливе значення для Київського водосховища в якому накопичено багато РН після аварією на Чорнобильській АЕС. В роботі [30] метою дослідження було оцінити літоральну міграцію донного геологічного відкладу та розподіл РН з використанням матеріалів структурного дешифрування різночасових космічних знімків різної просторової розрізненості (Океан-О, SPOT і Landsat). Враховуючи порівняно невелику ширину водойми (середня — 8,4 км, максимальна — 12 км), виділені на берегах структури були екстрапольовані у межі її дна. Виділення розривних структур проводилося А. Я. Ходоровським з використанням контрастно-аналогового та індикаційного прийомів структурного дешифрування космічних зображень у межах суші, прилеглої до акваторії водосховища. Як додаткові матеріали використовувались дані наземних геофізичних досліджень, результати аналізу морфології рельєфу суходолу, дна Київського водосховища і р. Прип'ять за топокартами різних років, а також дані гідробіологічних, гідроекологічних, радіоекологічних досліджень.

В результаті проведених досліджень було складено структурну схему району: розломи, блоки, кільцеві структури й вузли перетинання розломів, тобто всі геологічні структури, що впливають на латеральне переміщення відкладів та вертикальну проникність і фільтрацію підземних вод (рис. 5). За даними дешифрування космічних знімків були виділені зони лінементів, що відповідали регіональним зонам розломів, також були виділені дві кільцеві структури та вузли перетинів зон розломів. У межах дна водойми виділено три великі блоки, що розрізняються за гіпсометричним положенням і характером рельєфу. Це блоки — північний, який розташовано у північній частині водойми, центральний — знаходиться між Тетерівською затокою й селищем Толокунь та південний, до якого відноситься південна частина водойми [4].

Виходячи з проведених досліджень найбільш небезпечною ділянкою, з позиції забруднення підземних вод радіонуклідами є північна частина водойми, де сходяться Прип'ятський і Дніпровський відроги. У цьому місці перетинаються порушення Одесько-Тальновської, Південної прибортової та Тетерівської зон розломів і одного із субширотних порушень Північно-Української горстової зони. Ще три вузли перетинання Одесько-Тальнівської зони розломів з більш дрібними структурами встановлені в межах Київського водосховища. Один з них розташовано навпроти Тетерівської затоки, інший —

навпроти селища Толокунь, а третій — проти селища Лютиж. Найбільш небезпечним із погляду забруднення підземних вод слід вважати вузол у районі Тетерівської затоки. Тут на дні водойми накопичено значну кількість різних токсикантів. Крім того, ще один вузол розломів розташований у районі Чорнобильської АЕС. Тут перетинаються Південна прибортова й Брусилівська зони розломів з одним із порушень, що відноситься до Північно-Української горстової зони. Підвищенню проникності порід у межах цього вузла сприяє і розташована тут Чистогалівська кільцева структура. Високий вміст РН і важких металів у поверхневих відкладах на цій території та підвищена проникність порід робить цей район особливо небезпечним із погляду забруднення підземних вод [6].

Виділені розломи розчленували територію на серію відокремлених блоків різних розмірів розвиток яких відбувався переважно автономно. На етапі формування рельєфу це знайшло відображення в їх різному гіпсометричному положенні і у різній морфології рельєфу. Як було вказано вище, усього в межах дна водойми виділяються три найбільших за площею блоки — північний, центральний і південний. В свою чергу ці блоки складаються з блоків менших розмірів. Їх границі визначаються переважно розломи Одесько-Тальновської зони, що обмежують блоки із заходу й сходу, і субширотні порушення, що обмежують блоки з півночі й півдня. Розломи північно-західного й північно-східного напрямків відігравали другорядну роль у визначенні границь блоків. У межах вказаних вище блоків за результатами досліджень було виділено шість відособлених блоків першого порядку. Так, північний блок характеризується вирівняним рельєфом дна. У центрального блока поверхня дна розчленована, виділяються невеликі лінійні підняття, розділені більшими пониженнями. Рельєф дна у межах південного блока відзначається порівняно широким розвитком вузьких витягнутих підняття і западин переважно субмеридіонального й субширотного простягання. По особливостях розподілу рівня дна й морфології рельєфу вказані блоки поділяються на західну й східну частини. Східні частини блоків відрізняються від західних більш вирівняним слабко розчленованим рельєфом дна й переважним розвитком понижень. Межа між західною й східною частинами блоків проходить по вузьких лінійних блоках високих порядків, що характеризуються, звичайно, мінімальними значеннями відміток рельєфу дна [7].

Аналіз наявних матеріалів по розподілу РН у воді, суспензіях і донних геологічних відкладі показує, що в правобережній частині водойми, дно якої відрізняється більшим підняттям і розчленованим рельєфом, вміст РН значно вищий, ніж у лівобережній, де рельєф дна більш рівний. Слід припустити, що нерівності дна виявилися "пастками" на шляхах переміщення осадових, що містять радіонукліди.

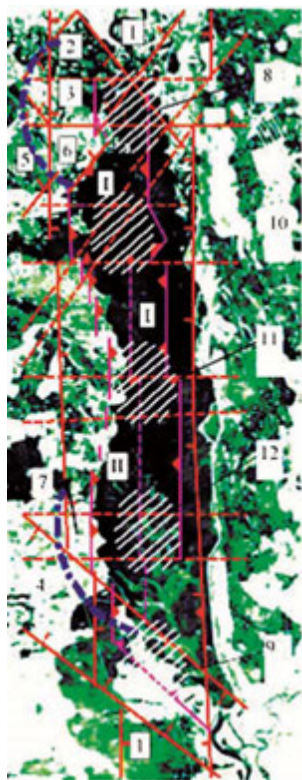


Рис. 5. Структура рельєфу дна Київського водосховища за результатами аналізу космічних знімків супутників Океан-О, SPOT і Landsat. Зони розломних порушень, що визначають розподіл радіонуклідів, позначені пунктирними лініями та цифрами. Зони порушень: 1 — Одесько-Тальнівська; 2 — Північно-Українська горстова; 3 — Південно-прибортова; 4 — Дніпродзержинська; 5 — Тетерівська. Кільцеві структури: 6 — в р-ні Опачичи-Страховісся; 7 — в р-ні гирла р. Ірпінь. Вузли перетинання розломів: 8 — на півночі Кихвського водоймища; 9 — на півдні Кихвського водоймища; 10 — в р-ні Тетерівської затоки; 11 — в р-ні селища Толокунь; 12 — в р-ні селища Лютіж

Таким чином, виділені за космічними знімками тектонічні блоки, що проявилися в сучасному рельєфі, вплинули на розподіл і перерозподіл РН у донних відкладах Київського водосховища. Морфологія дна, зміни в гіпсометричних відмітках рельєфу, зв'язані з розломами земної кори, впливають на перерозподіл придонних шарів води і можуть бути причиною нерівномірності розподілу РН у Київському водоймі. З виділених трьох вузлів перетинання розломів найбільш небезпечним, із погляду забруднення підземних вод, є вузол, який розташований у північній частині водосховища.

Утворення стабільних ділянок підвищеної концентрації тих чи інших забруднюючих речовин в умовах мілководних водойм під впливом вітровим збурюванням, може бути однієї з причин локального погіршення якості води за рахунок перевищення нормативних показників хімічних сполук. Вивчення розломно-блокових структур, що впливають на перерозподіл придонних водних потоків і седиментів, дозволить більш точно прогнозувати виникнення екстремальних ситуацій.

Особливості геологічної будови дна водосховища і його виразність у рельєфі необхідно враховувати при створенні мережі контрольних станцій для проведення моніторингу якості води не тільки поверхневих, але і підземних вод, а також рівня забруднень донних відкладів. Не виключено, що розломи, крім функції перерозподілу РН у донних відкладах, можуть мати і прямий вплив на рівень радіоактивності за рахунок викиду Po^{208} , однак це питання вимагає окремих досліджень.

Гідромеліорація

Сутність дисципліни полягає у поліпшенні водного балансу та водного режиму земель шляхом їх осушення чи зрошення. На практиці гідромеліорація суттєво змінює елементи водного балансу, особливо випаровування та річковий стік, що впливає на функціонування водних екосистем у цілому.

Найвпливовішою гідромеліоративною складовою дії на водні екосистеми вважається зрошення. За умовами головного чинника еволюційного перетворення — тепломасообміну зрошення характеризується додатковим надходженням водних розчинів з поверхні у шари ґрунтів і порід, тобто збільшенням об'єму води в геосистемі і приносом у неї технічних речовин. Вплив іригації проявляється перш за все в інфільтраційній дії — гідродинамічній дії води, що проникає у геосередовище і змінює стан його компонентів. Тривале зрошення спричинює низку екологічних проблем, зокрема вторинне засолення й осолонцювання ґрунтів. Із зрошенням також пов'язана проблема раціонального використання води. Водокористування при цьому розглядається як складна система з розподіленими параметрами [10], яка потребує аналізу та контролю за комплексом показників і критеріїв. Систему можна представити у вигляді сукупності основних технологічних операцій: водозабір–водорозподіл–полив–водовідведення. Дана структура має певну функціональну ієрархію: від рівня сільськогосподарських зрошуваних полів, на яких формується дефіцит водоспоживання, до внутрішньогосподарських, міжгосподарських і магістральних каналів.

З позиції зрошення математичною моделлю водокористування є рівняння водного балансу [10], прибуткову частину якого складають: водоподача із джерел зрошення, атмосферні опади та боковий приплив у канали з ґрунтових вод, а витратну: водозабір, фільтрація, скиди, випаровування та зміна об'ємів води у каналах. Рівняння складається для кожної структурної ланки системи: зрошуваних полів, зрошувальних каналів, дренажно-скидних мереж. У будь-якому випадку обов'язково присутні зміни водних запасів, що характеризують демпферність зрошувальної системи (саморегульовальну здатність) і які складно (майже неможливо) визначати наземними методами при польових дослід-

женнях. Проте, завдяки космічному геомоніторингу, це завдання успішно вирішується.

Одним із складників системи просторового оцінювання водно-екологічних та еколого-меліоративних ситуацій є запропонований метод визначення зміни водних запасів за супутниковими даними. Суть методу полягає в аналізі системи радіаційного, енергетичного та водного балансів і поступовому розв'язанні їх складників, беручи за основу супутникову інформацію [33]. Елементи балансів, в свою чергу, описують зв'язок між вмістом вологи на поверхні та енергетичними ресурсами атмосфери, між енергетичним і радіаційним балансами, надходженням води до земної поверхні і її витратами. Результатом моделювання та аналітичних перетворень величин довжин хвиль електромагнітного випромінювання від видимого до інфрачервоного каналів супутникових даних є просторово розподілена інформація про дисбаланс (зміну вологи) території у межах зрошувальної системи.

Метод апробовано для умов зрошення на пілотній території дослідного господарства “Асканійське” Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошеного землеробства НААН, що знаходиться в Каховському районі Херсонської області з застосуванням мультиспектральних даних супутників Landsat 7 (станом на 18.08.2008 р.) та Landsat 5 (станом на 08.08.2011 р.). Моделювання та розрахунки виконано у програмному забезпеченні Erdas Imagine. На рис. 6 наведено алгоритм визначення зміни водних запасів, а на рис. 7 — карти просторового розподілу елементів системи трьох балансів.

За результатами моделювання зв'язку між вмістом вологи на поверхні та енергетичними ресурсами атмосфери для пілотної території побудовано тематичну карту сумарної радіації (R_n).

Енергію, що витрачається на нагрівання або охолодження верхнього шару ґрунту, обчислено за непрямым методом через компоненту рослинного покриву, на підставі чого отримано карту теплового потоку у ґрунті (G_o). Значення відчутного теплового потоку отримано з побудованої відповідної тематичної карти (H), а прихованого тепла від випаровування з ґрунту — з карти значень Λ .

Зміну водних запасів ΔV визначено відповідно до динаміки накопичення та втрати вологи у межах пілотної території (зрошувані поля господарства) при проведенні поливів з перерахунком на добу. Відомості про строки та поливні норми для культур надано господарством “Асканійське”. На основі аналізу метеоумов на дати отримання знімків з'ясовано, що опади в ці дні були відсутні. Таким чином, окрім як від дощувальної техніки, роботу якої було розпочато о 8-й годині ранку, води на поля не надходило.

У заголовковому файлі знімків зазначено, що сканування земної поверхні відбувалося о 12-й годині

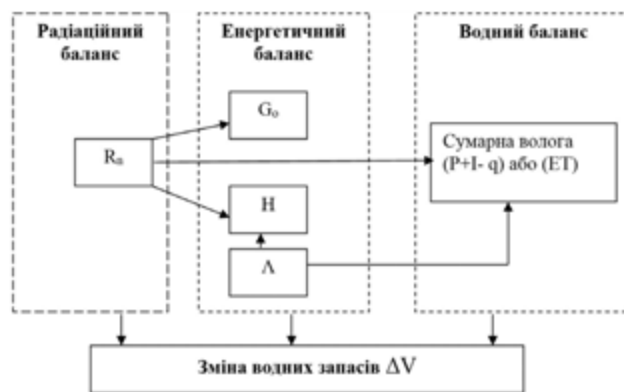


Рис. 6. Схема визначення зміни водних запасів

ранку. За проміжок часу, що складає чотири години на поля було подано певну кількість поливної норми. На рис. 8 наведено результати моделювання динаміки накопичення (білі пікселі) та втрати вологи (чорні пікселі), що є зміною водних запасів, а також векторна карта наявних водних запасів у межах зрошуваного поля, яка була отримана шляхом обчислення функції приналежності методу багатокритеріальної оптимізації. При цьому розв'язок задачі було зведено до субоптимального.

На основі площ виділених зволжених ділянок (растрове зображення) ΔV з використанням для розрахунку спеціальної програми була обчислена функція F_{pixel} що характеризувала поливну норму. В ході аналізу було встановлено, які саме пікселі чорні (вологі) чи білі (сухі) складають вилиту на поле норму.

Отримана карта наявних водних запасів дає відповідь на питання, чи дотримано строки і норми поливу. Наведене на векторній карті значення 349 мм — це наявна волога (при 350 мм поданої води на зрошення), тоді $\Delta V = -1$ мм і, відповідно, полив виконано. Якщо необхідно подати 600 мм, а отримане значення (на карті) 570 мм, то величина недополиву на момент визначення 30 мм, або полив ще не закінчено.

Висновки

Результати мультидисциплінарного аналізу дистанційних і наземних досліджень на основі системного аналізу показали ефективність інтегральної оцінки стану водних екосистем із залученням знань з різних наукових дисциплін: екології, гідробіології, гідрології, гідрохімії, геології.

Розробка і апробація алгоритму оцінки стану водних екосистем на основі методу багатокритеріальної оптимізації та аналізу ієрархій дозволило сформулювати узагальнюючий критерій — функцію приналежності та ієрархічну модель, які поповнили методичну базу дистанційних аерокосмічних досліджень в природокористуванні.

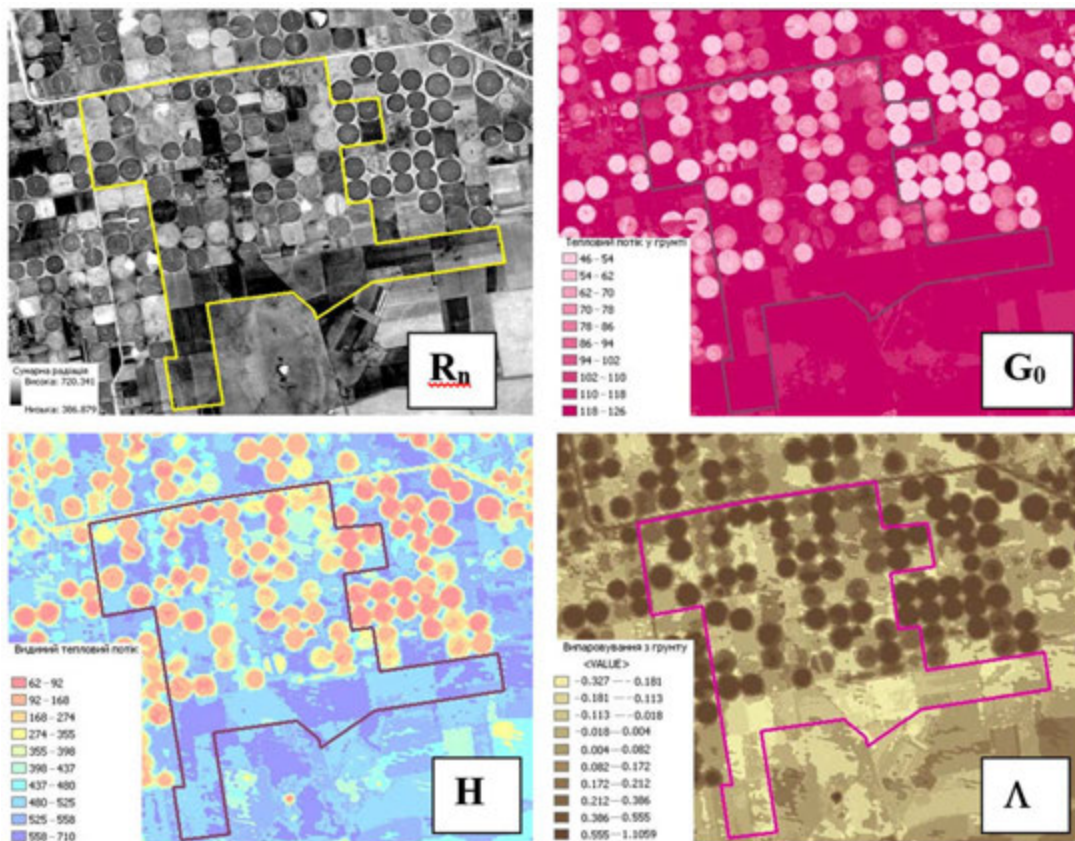


Рис. 7. Просторовий розподіл елементів системи енергетичного, радіаційного і водного балансів

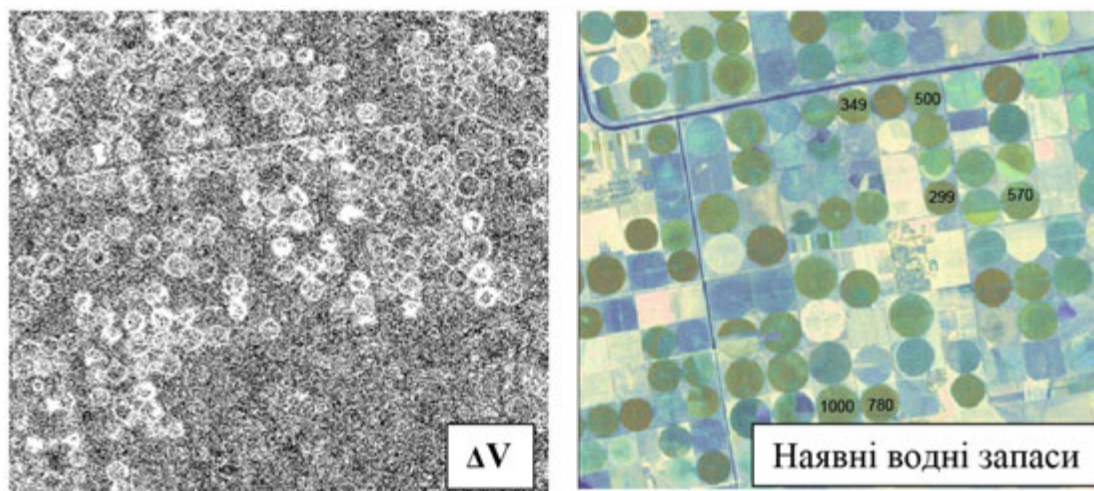


Рис. 8. Просторовий розподіл зміни водних запасів ΔV та векторна карта величин наявних водних запасів (мм)

Вивчення загальної картини заростання водних об'єктів із комплексним використанням космічної і наземної інформації дозволяє прослідкувати зміни площ основних типів рослинних угруповань (біотопів та природно-територіальних комплексів) і прогнозувати їх подальший розвиток під дією різних чинників.

Дослідженням взаємозв'язку гідрохімічних параметрів та розвитку угруповань вищих водних рослин в рівнинному водосховищі показали наявність

залежності між зміною площ зарослих акваторій та вмістом розчиненого у воді діоксиду вуглецю, хлору та показниками біхроматної окиснюваності, кольоровості води, вмістом іонів міді та завислих речовин.

Порівняння просторово розподіленої інформації — тематичних карт, які отримані за супутниковими даними і наземною інформацією засвідчило можливість застосування запропонованого методу для виконання кількісного оцінювання про-

цесу проведення поливів сільськогосподарських культур у межах господарства та зміни запасів водних ресурсів у часі.

Набутий у ході досліджень Київського водосховища понизових ділянок Дніпра, озера Світязь та території ДП “Дослідне господарство “Асканійське” Асканійської державної сільхозгосподарської дослідної станції Інституту зрошувального землеробства досвід комплексного використання різнодисциплінарних матеріалів може бути застосований як методична основа для оцінки інших територій України.

Література

1. Абіотичні компоненти екосистеми Київського водосховища / за ред. В. М. Тімченко. — К.: Логос, 2013. — 60 с.
2. Артюшенко М. В. Фрактальний аналіз спектрограмм растительного покрова в задачах природопользования / М. В. Артюшенко, Л. В. Подгородецкая, А. Д. Федоровский // Доповіді Національної академії наук. — 2010. — № 8. — С. 113–119.
3. Артюшенко М. В. Мультифрактальный анализ биоразнообразия и ценотической структуры сообщества растений по данным дистанционного зондирования / М. В. Артюшенко, Л. Н. Зуб, Л. В. Подгородецкая, А. Д. Федоровский // Доповіді Національної академії наук. — 2011. — № 9. — С. 132–141.
4. Белевцев Я. Н. Космотектоническая карта Украинского щита / Я. Н. Белевцев, С. С. Быстревская, Н. П. Семенов // Исследования Земли из космоса. — 1982. — №4. — С. 4–14.
5. Гейны С. Макрофиты — индикаторы изменений природной среды / С. Гейны, Д. В. Дубына, К. М. Сытник [и др.]. — К.: Наукова думка, 1993. — 433 с.
6. Гудзенко В. В. Вертикальная миграция осколочных радионуклидов. Итоги десятилетних наблюдений / В. В. Гудзенко, И. П. Онищенко, В. М. Шестопалов // Чернобыль-96: Сб. тез. — 1996. — С. 53–55.
7. Давидчук В. С. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / В. С. Давидчук, Р. Ф. Зарудная, С. В. Михели и др. — К.: Наук. думка, 1994. — 112 с.
8. Зуб Л. М. Формування рослинного покриву та деякі особливості гідрохімічного режиму Київського водосховища / Л. М. Зуб, О. В. Томченко // Екологічні науки: науково-практичний журнал; головний редактор О. І. Бондар. — К.: ДЕА, 2015. — №8. — С. 27–39.
9. Киевское водохранилище. Гидрохимия, гидробиология, продуктивность / Под ред. Я. Я. Цееба, Ю. Г. Майстренко. — К.: Наукова думка, 1972. — 460 с.
10. Коваленко П. І. Раціональне використання води при зрошенні / П. І. Коваленко, Ю. О. Михайлов // Аграрна наука. — 2000. — 154 с.
11. Лялько В. І. Використання космічної інформації у вирішенні водогосподарських і водоохоронних завдань / В. І. Лялько, О. Д. Федоровський, Л. Я. Сиренко та ін. // Космічна наука і технологія. — 1997. — №3/4. — С. 40–49.
12. Лялько В. І. Оценка влияния разломных структур на распределение радионуклидов в донных отложениях с использованием космических снимков / В. И. Лялько, Л. А. Сиренко, А. Д. Федоровский, А. Я. Ходоровский, В. М. Шестопалов // Космічна наука і технологія. — 2000. — Т. 6. — №2/3. — С. 31–38.
13. Междисциплинарные исследования в науке и образовании. Официальная страница электронного журнала “Междисциплинарные исследования в науке и образовании”. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mino.esrae.ru/>. — Дата обращения 03.11.2015. — Название с экрана.
14. Підгородецька Л. В. Використання інформації космічного геомоніторингу для оцінки екологічного стану водойм на прикладі озера Світязь / Л. В. Підгородецька, Л. М. Зуб, О. Д. Федоровський // Космічна наука і технологія. — 2010. — Т. 16. — № 4. — С. 51–56.
15. Романенко В. Д. Экологические проблемы Днепра в ретроспективе и на современном этапе. / В. Д. Романенко, Л. А. Сиренко, А. Д. Федоровский // Гидробиол. журнал. — 1998. — Т. 34. — №5. — С. 3–10.
16. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. / Т. Саати — М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. — 360 с.
17. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати — М.: Радио и связь, 1993. — 186 с.
18. Соколовская А. В. Методические основы дистанционных аэрокосмических исследований в природопользовании, как мульти-междисциплинарное научное направление / А. В. Соколовская, А. Д. Федоровский // Український журнал дистанційного зондування Землі — 2015. — № 4. — С. 10–25. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ujrs.org.ua/ujrs/index>. — Дата звернення 03.11.2015. — Назва з екрану.
19. Соколовська А. В. Використання системних методів аналізу космічної інформації ДЗЗ для визначення екологічного стану антропогенно змінених ландшафтів / А. В. Соколовська, О. В. Томченко // Матеріали 13-ї Міжнародної конф. “Геоінформатика — теоретичні і прикладні аспекти”, (Київ, Україна, 13–16 травня 2013). — К.: Наукова думка, 2013. — С. 1–6.
20. Пат. 104662 Україна, МПК G06K 9/00, G01V 9/00, G01S 17/00. Спосіб дешифрування оптичних аномалій на аерокосмічних знімках / О. Д. Федоровський, В. Г. Якимчук, А. В. Соколовська, О. В. Томченко; заявник та власник патенту ДУ “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України”. — № а 2012 09156; заявл. 25.07.2012; опубл. 25.02.14, Бюл. № 4.
21. Тімченко І. Е. Системний менеджмент і АВС-технології устійчивого розвитку / Тімченко І. Е., Ігумнова Е. М. // Севастополь: МГІ НАН України. — 2000. — 225 с.
22. Томченко О. В. Аналіз динаміки заростання макрофітами верхів'я Київського водосховища на основі ГС/ДЗЗ-технологій / О. В. Томченко // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия: География. — 2013. — Т. 26 (65). — № 1. — С. 159–164.

23. Томченко О. В. Використання методу багатокритеріальної оптимізації матеріалів ДЗЗ та наземних даних для оцінки екологічного стану Київського водосховища / О. В. Томченко // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. Нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук (голов.ред.) [та ін.]. — К., 2014. — Вип. 15. — С. 31–39.
24. Томченко О. В. Оцінка екологічного стану водно-болотних угідь верхніх ділянок Київського водосховища / О. В. Томченко, Л. М. Зуб, А. В. Сагайдак // Збірник наукових статей: Екологія водно-болотних угідь і торфовищ. — К.: ТОВ НВП “Інтерсервіс”, 2014 — С. 246–251.
25. Федоровский А. Д. Системный подход к оценке эффективности аппаратных комплексов дистанционного зондирования Земли / А. Д. Федоровский, Л. Ф. Даргейко, В. П. Зубко, В. Г. Якимчук. // Космична наука і технологія. — 2001. — Т 7. — № 5–6. — С. 75–79.
26. Федоровский А. Д. Использование космической информации для контроля состояния водных объектов черномыльской зоны / А. Д. Федоровский, Л. А. Сиренко, А. Я. Ходоровский, Рябоконенко А. Д. // Гидробиологический журнал. — 1999. — Т. 35, № 4. — С. 3–11.
27. Федоровский А. Д. К вопросу оценки экологического состояния аквально-наземных ландшафтных комплексов на основе системного подхода / А. Д. Федоровский, Л. Ф. Даргейко, Т. Н. Дьяченко, В. Г. Якимчук // Доповіді Національної академії наук. — 2000. — №5. — С. 129–131.
28. Федоровский А. Д. Оценка экологического состояния водоемов с использованием космической информации / А. Д. Федоровский, Л. А. Сиренко, Э. Л. Звенигородский, И. Ю. Иванова, К. Ю. Суханов, В. Г. Якимчук // Космична наука і технологія. — 1996. — №5–6. — С. 103–106.
29. Федоровський О. Д. Методичні аспекти класифікації аквальних ландшафтів в зоні шельфу / О. Д. Федоровський, К. Ю. Суханов, В. Г. Якимчук, Т. Н. Дьяченко // Глобальна система спостережень Чорного моря. МГІ НАН України. — Севастополь. — 2000. — С. 24–29.
30. Шестопалов В. М. О влиянии разломных структур на распределение радионуклидов в донных отложениях Киевского водохранилища / В. М. Шестопалов, В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, Л. А. Сиренко, А. Я. Ходоровский // Доповіді Національної академії наук України. — 2000. — № 8. — С. 131–134.
31. Fedorovsky A.D. The estimation of ecological condition of natural water systems with use of system approach / A. D. Fedorovsky, K. Yu. Suhanov, V. G. Yakimchuk // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. — Budapest. — 1998 — Vol. XXXII. — Part 7. — P. 706–707.
32. Fedorovsky A .D. Use of the remote control for revealing sites of danube with various speed of water stream on the basis of phytoindication / A. D. Fedorovsky, T. N. Dyachenko, L. A. Sirenko // 32 Konferenz der IAD. Wien. — Österreich. — 1997. — С. 211–215.
33. Iliencko T. Merging Remote Sensing and In Situ Data for Estimation of Energy balance Components Under Climate Change Conditions: Ukrainian Step Zone. Use of satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability / T. Iliencko, E. Vlasova // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, DOI 10.1007/978-90-481-9618_31, ©Springer Science+Business. — 2011. — Chapter 32. — P. 273–283.

МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНИЙ АНАЛІЗ АЕРОКОСМІЧЕСЬКОЇ І НАЗЕМНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ОЦІНЦІ СТОСТАННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗА

А. Д. Федоровський, А. В. Хижняк, О. В. Томченко, Л. Н. Зуб, Л. В. Подгородецкая, Т. Н. Дьяченко, А. Н. Шевченко, Е. В. Власова, А. Я. Ходоровський, В. Г. Якимчук

В статті розглянуті результати мультидисциплінарного підходу к аналізу аерокосміческoї і наземної інформації при оцінці стану водних екосистем на основі методів системного аналізу з використанням даних, отриманих в суміжних наукових областях знань: екології, гідробіології, гідрології, гідрохімії, геології, гідромеліорації.

Ключевые слова: ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли, геомониторинг, ПТК — природно-территориальные комплексы, ВВР — высшая водная растительность, гидробиология, гидрология, гидрохимия, геология, гидромелиорация, качество воды

THE MULTIDISCIPLINARY ANALYSIS OF THE AEROSPACE AND GROUND INFORMATION WHILE ASSESSING THE STATUS OF WATER ECOSYSTEMS BASED ON THE METHODS OF SYSTEM ANALYSIS

A. D. Fedorovsky, A. V. Khyzhnyak, O. V. Tomchenko, L. N. Zub, L.V. Podgorodetska, T. N. Dyachenko, A. N. Shevchenko, E. V. Vlasova, A. Ya. Khodorovsky, V. H. Yakymchuk

The article describes the results of the multidisciplinary approach to the analysis of the aerospace and ground information while assessing the condition of the aquatic ecosystems based on the methods of system analysis using knowledge from different studies: ecology, hydrobiology, hydrology, hydrochemistry, geology, hydromelioration.

Keywords: RS — remote sensing, geomonitoring, NTC — natural-territorial complexes, HAP — higher aquatic plants, hydrobiology, hydrology, hydrochemistry, geology, hydromelioration, water quality

УДК 550.834:550.836

Спосіб прогнозування покладів вуглеводнів за сейсмічними та геотермічними даними

С. Г. Семенова*, С. М. Єсіпович, А. Д. Бондаренко, О. А. Рибак

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

Прогнозування покладів вуглеводнів сейсморозвідкою та за геотермічними даними провадиться завдяки дослідженню сліду дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП), який завжди утворюється над покладами нафти та газу і складається з відновлювальної (безпосередньо над покладом) та окислювальної (вище за розрізом) зон цієї області. За сейсмічними та геотермічними властивостями ці зони відрізняються від тих, що оточують та покривають їх.

Ключові слова: поклад вуглеводнів, слід дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП), відновлювальна та окислювальна зони області СДЕП, епігенетичні зміни відкладів, сейсмічний ефект, теплове поле

© С. Г. Семенова, С. М. Єсіпович, А. Д. Бондаренко, О. А. Рибак. 2015

Запропонований спосіб належить до комплексу методів сейсморозвідки та геотермії і може бути використаний для прогнозування та розвідки покладів різних видів вуглеводнів (ВВ): нафти, газу, газоконденсату, — незалежно від виду ВВ, типу пастки (антиклінальна чи не антиклінальна чи інших видів), віку ВВ, глибини залягання пастки та інших умов.

Відомо багато геологічних, геофізичних, геохімічних, геотермічних та інших методів пошуку та розвідки покладів ВВ, але успіх їх залежить від сприятливих геологічних умов залягання пасток ВВ: незначних глибин їх розташування (до 2–3 км), значних потужностей та пористості колектора, однорідності його за вмістом, структури, а також за порівняно невеликого рівня геологічних та технічних завад.

Основою пошуку покладів ВВ геофізичними та геологічними методами розвідки є зміна фізичних властивостей колектора продуктивного горизонту при заміні в ньому пластової рідини на ВВ, оскільки відомо, що ВВ характеризуються іншими значеннями щільності, жорстких властивостей, та інших характеристик. Крім того, в покладах ВВ, навколо їх та над ними відбуваються різного виду геологічні, фізичні, хімічні, геотермічні та інші процеси, які також впливають на пошукові ознаки покладів ВВ.

Одним з сейсмічних способів пошуку та розвідки покладів ВВ, є спосіб Тимошина Ю. В. та Семенової С. Г. (за патентом України [8]), який базується на фіксації сейсмічного ефекту не тільки від самого покладу ВВ, а також від епігенетично змінених відкладів продуктивного розрізу, які завжди утворюються в середовищі навколо та над накопиченнями нафти та газу. Такий підхід призводить до збільшення розмірів досліджуваного об'єкта, що вміщує по-

клад ВВ, наближення його до поверхні спостереження, а тому зменшення завад та збільшення можливостей і точності пошуку ВВ.

Нагадаємо про суть цього підходу.

Навколо та над покладами ВВ завжди утворюються епігенетично змінені відклади розрізу з відмінними від ВВ фізичними властивостями внаслідок зміни в продуктивному розрізі геохімічного потенціалу середовища. Останнє відбувається завдяки міграції (фільтрацією на контактах, ефузією та дифузією вгору по розрізу) з покладу частини ВВ [9, 11 та ін.] та подальшому руйнуванню, окисленню, перетворенню їх з віддаленням від покладу. З цих епігенетично перетворених відкладів утворюється так званий слід дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП) — зі зміненими фізичними, в тому числі сейсмічними, тепловими та іншими характеристиками порід. Цей об'єкт (СДЕП) поділяється на дві зони [8]: відновлювальну, яка утворюється безпосередньо над покладом ВВ (відомо, що ВВ — відновлювальники за геохімічним потенціалом), та окислювальну, яка замінює відновлювальну зону вище за розрізом (рис.), оскільки при руйнуванні, окислюванні ВВ в пластову рідину виділяються такі речовини, як CO, CO₂, різні рослинні кислоти, що підвищують окислювальний потенціал середовища.

Структура СДЕП над покладами ВВ залежить від виду ВВ: над покладом нафти потужність відновлювальної зони складає лише 200–300 м, над покладом газу — 500–600 м і може досягати значно більших розмірів залежно від складу, та будови осадового чохла.

Окислювальна зона над нафтовими покладами значно більша за розміром, ніж відновлювальна зона — 2.0–3.0 км, і часто досягає денної поверхні.

Над газовими накопиченнями окислювальна зона змінюється в різних розмірах: від нуля, де в умовах добре проникного осадового чохла відновлювальна зона може досягати денної поверхні, а окис-

* Тел. +380 44 482 19 32

лювальна ще не встигає утворитися, до різних розмірів для покладів, що залягають в інших геологічних умовах.

Зони області СДЕП відрізняються між собою також фізичними властивостями завдяки різному складу епігенетичних створень та процесів, що відбуваються в них.

У відновлювальній зоні області СДЕП з розчину пластової рідини випадають в осад нерозчинні в цьому середовищі щільні та акустично жорсткі епігенетичні мінерали і сполучення: сульфати, карбонати, ванадати, сульфіді та інші. Це призводить до збільшення над покладами ВВ щільності, акустичних властивостей пластів, які вміщують ці рідини. Крім того, в відновлювальному середовищі відбувається оглеєння глинистих порід; винос з них основної маси заліза, які перетворює їх у більш пухкі, пористі сполучення зі зменшенням значень їхньої щільності, пружних характеристик. В хомогенних товщах на рівні інтенсивної вторинної кальцитизації, ангідритизації, перекристалізації в відновлювальному середовищі, окремі прошарки стають внаслідок цього більш щільними, пористість їх різко зменшується, а акустична жорсткість зростає. Тобто відновлювальна зона області СДЕП над покладами ВВ стає більш літолого-мінералогічно та фізично диференційована. Підвищена диференційованість товщі відновлювальної зони та збільшені в цілому її ефективні значення щільності та акустичної жорсткості призводить до зростання коефіцієнту відбиття сейсмічної хвилі (ВХ) від неї [13]. Тому над покладами ВВ часто спостерігається зростання амплітуди та частоти ВХ: поява покладами ВВ так званої “яскравої плями”.

У окислювальній зоні області СДЕП при підвищеному вмісті в пластовій рідині CO , CO_2 , різних рослинних кислот відбувається часткове розчинення породоутворюючих мінералів, сполучень (карбонатів, сульфатів, силікатів та ін.), тобто створення більш пористих порід, в межах щільних, акустично жорстких утворень. В той же час менш проникні акустично “м’які” глинисті відклади, наповнюючись продуктами цього розчинення, стають ще більше непроникними, а акустично більш жорсткими. До останнього призводять також висипки епігенетичних акустично жорстких мінералів, характерних для відновлювального середовища, яке місцями утворюється в непроникних глинистих відкладах і в окислювальній зоні СДЕП за рахунок наявності мігруючих ВВ, що місцями накопичуються тут. Таким чином, відклади різного складу, структури в окислювальній зоні зменшуються за контрастністю фізичних властивостей аж до нівелювання та інверсії. В зв’язку з цим спостерігається пониження, аж до зникнення, інтенсивності ВХ: поява “пунктирних” ліній синфазності, *хаотичності сейсмічних записів*, “*слітих плям*” над покладами ВВ в інтервалі окислювальної зони області СДЕП.

На утворення вторинних епігенетичних сполучень в пластовій рідині потрібна додаткова енергія, яка

поступає з оточуючого середовища в вигляді тепла. Як відзначається у “Курсе мінералогії” А. Г. Бетехтіна [1] “кристалізація жидких фаз починається при некотором переохладении”, тобто епігенетичне перетворення відкладів в відновлювальній зоні призводить до *зниження рівня теплового поля в відновлювальній зоні* області СДЕП.

Оскільки відновлювальна зона області СДЕП над газовими покладами буває значна за розмірами і досягає часто денної поверхні, то над газовими покладами в цьому випадку спостерігається зменшення рівня теплового поля, що і відзначається в деяких випадках появою від’ємних значень зміни температури над покладом ВВ на денній поверхні [4, 14].

У окислювальній зоні області СДЕП при протіканні окислювальних процесів над ВВ з виділенням в пластову рідину CO , CO_2 , відбувається зростання тепла [6, 2, 7, 10], тобто в цьому інтервалі осадового чохла спостерігається *підвищення рівня теплового поля*.

Коли окислювальна зона над покладом ВВ досягає денної поверхні, над покладом ВВ фіксується підвищене додатне теплове поле.

Таким чином, над покладами ВВ на денній поверхні фіксуються додатні теплові поля головним чином над нафтовими покладами, якщо створювана область СДЕП з окислювальною зоною значної потужності досягає денної поверхні.

Над газовими покладами, де створювана область СДЕП з відновлювальною та окислювальною її зонами, і окислювальна зона над якими досягає денної поверхні, також фіксується додатне теплове поле.

Над газовими покладами, що розташовані на невеликій глибині, або тими, що знаходяться в осадовому чохлі з пористими, добре проникними відкладами і над якими вище відновлювальної зони області СДЕП ще не встигає створитися окислювальна зона, на денній поверхні фіксується від’ємне теплове поле. Це й фіксується в ряді випадків [4]: на одній з площ Волзько-Уральського нафтогазового басейну зафіксовані позитивні теплові поля в межах нафтових покладів і від’ємні — на більшості нафтогазових накопичень. Автор роботи вважає, що від’ємні геотермічні поля над нафтогазовими покладами пов’язані з ендотермічними процесами, які супроводжують виділення газу з нафти або з міграцією газу в бік низького тиску. Таким чином, утворення від’ємних теплових ефектів над газовими покладами, очевидно, відбувається в геологічних провінціях, де осадовий чохол значно пористий або тріщинуватий і тому добре проникний для газу, що дифундує з покладу аж до денної поверхні, утворюючи відновлювальну зону області СДЕП значної потужності.

Як відмічається в роботах [6, 2, 7, 10], температура відкладів, геотермічний градієнт, теплові потоки над покладами ВВ зростають, контури нафтогазо-

носності за даними геотермії часто збігаються з тими, що встановлені свердловинами.

Додатні аномалії температури над покладами ВВ складають від одиниць до перших десятків градусів Цельсія на глибині 10–25 м і до перших десятків градусів на глибині 1000–2000 м, що свідчить про протікання окислювальних процесів в покладах та над ними з виділенням при цьому тепла [2]: $\Delta T = f(\text{CO}_2)$ — ці кореляційні відношення автори пояснюють екзотермічними процесами при деструкції нафти та газу. Підвищенні додатні теплові поля поблизу денної поверхні пояснюють мікробіологічним окисленням газових ВВ, що мігрували з покладів [6, 2, 7, 10].

В роботі [10] показано, що *на периферії продуктивної структури* спостерігаються *від'ємні теплові поля* за рахунок, як вважають автори, розподілення температури усередині покладу, створення внаслідок “конвекції всередині залежи” прошарку “локальної температурної депресії” в межах контакту покладу (водо-нафтового та газо-водного контактів — ВНК та ГВК). Так прошарки були виявлені авторами в межах усіх досліджених нафтогазових площ Дагестану і Калмикії. Оскільки відомо, що на контактах покладу ВВ при зміні геохімічного потенціалу з відновлювального в покладі на окислювальний за його межами відбувається значне епігенетичне мінералоутворення, то бачимо демонстрацію того факту, що створення нових вторинних сполучень супроводжуються поглинанням тепла з оточуючого середовища.

Підвищення рівня теплового поля в продуктивному горизонті *за межами ВНК і ГВК* викликано появою в пластовій рідині CO , CO_2 завдяки *біохімічно-*

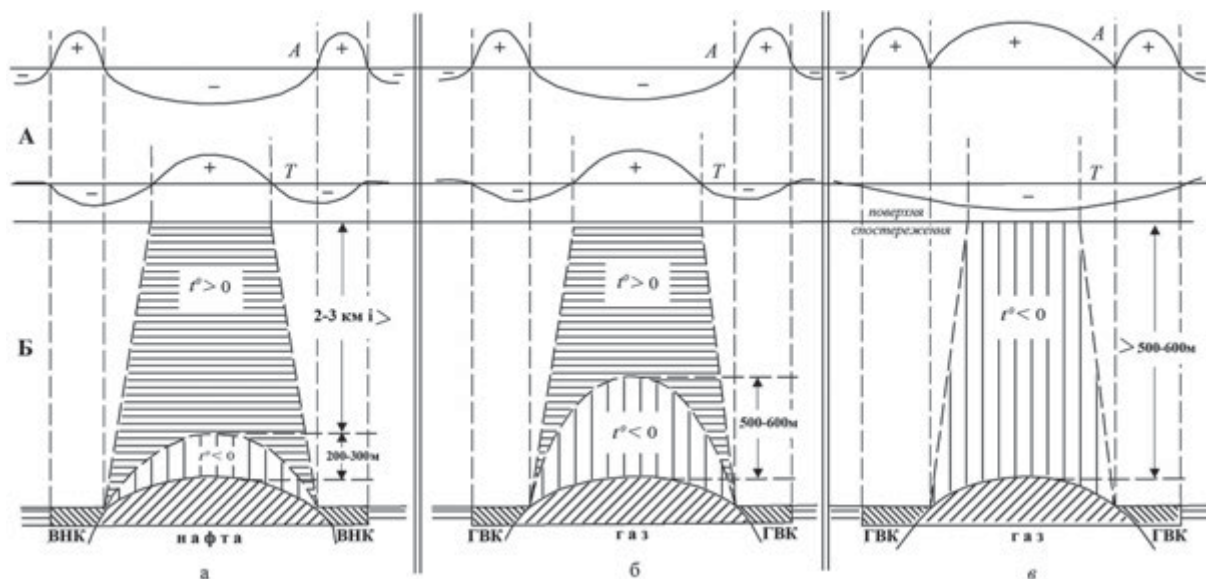
му окислюванню покладу ВВ анаеробними бактеріями, що існують в за рахунок енергії вуглеводу і кисню мінеральних сполучень продуктивного горизонту [3, 7].

Роботи, що були проведені в самих різних районах, показали зв'язок геотермічного режиму надр з наявністю в них покладів ВВ. Це дає можливість геотермічної розвідки на родовища ВВ [6].

Таким чином, наявність в геологічному середовищі покладів ВВ, з завжди мігруючою з них частиною речовини, призводить до зміни навколо та над ними геохімічного потенціалу середовища. Самі ВВ, відновлювальники за геохімічним потенціалом, при розповсюдженні від покладу руйнуються та окислюються. Це змінює геохімічний потенціал середовища від відновлювального безпосередньо над покладами ВВ до окислювального вище за розрізом, а також в продуктивному горизонті за межами контуру покладу. Зміна геохімічного потенціалу середовища в продуктивному розрізі призводить до епігенетичних перетворень відкладів навколо та над покладом ВВ за складом та структурою, що відображається в фізичних (окремо сейсмічних та геотермічних) полях.

У сейсмічному полі продуктивного горизонту поклад ВВ відображається мінімумом амплітуд ВХ, який обрамляється різкоградієнтними максимумами параметру в областях ВНК та ГВК. на контактах покладу (рисунок — розділ А).

У сейсмічному полі над покладом ВВ: в його покрівлі та в відновлювальній зоні області СДЕП, — відмічається максимум амплітуд ВХ, який вище по розрізу, через нейтральне поле змін амплітуд ВХ переходить в хаотичне, або в майже від'ємне поле



Структура сейсмічного і геотермічного полів у геологічному розрізі, що містить поклади вуглеводнів (ВВ).

А — графіки зміни амплітуди (А) відбитої сейсмічної хвилі і температури (Т) над покладами ВВ на поверхні спостереження; **Б** — структура сейсмічного і геотермічного полів в розрізі над покладом ВВ (в області сліду дифузійно-ефузивного потоку (СДЕП), поза контактами покладів і на денній поверхні).

1 — поклади ВВ, 2 — області контактів: ВНК — водно-нафтового, ГВК — газозводного; області СДЕП: 3 — відновлювальна, 4 — окислювальна

зміни амплітуд ВХ в окислювальній зоні області СДЕП.

У геотермічному полі в геологічному розрізі безпосередньо навколо покладу ВВ: в покрівлі покладу, в межах ВНК та ГВК, у відновлювальній зоні області СДЕП, де відбувається інтенсивне епігенетичне мінеральне новоутворення з поглинанням теплової енергії з оточуючого середовища, — відмічається зменшення рівня його значень. З віддаленням від покладу ВВ: за межами його контактів та над покладом ВВ, в окислювальній зоні області СДЕП, де завдяки механічному та біохімічному окислюванню мігруючих ВВ в пластовій рідині з'являються продукти цього окислювання з виділенням теплової енергії в оточуюче середовище, відмічається підвищений рівень додатного теплового поля.

Таким чином, залежно від того, який вид ВВ в пастці, на якій глибині вона розташована, який характер епігенетичних змін відкладів відбувається навколо покладу та над ним, в області СДЕП, на поверхні спостереження теплового поля буде відмічатися додатне чи від'ємне його значення.

Характер зміни сейсмічного та геотермічного фізичних полів в розрізі та на денній поверхні дає можливість прогнозувати наявність покладів ВВ в геологічному розрізі та в ряді випадків вид ВВ: нафта, газ чи нафтогаз [5, 6, 13 та ін.].

Література

- Бетехтин А. Г. Курс минералогии / А. Г. Бетехтин. — М., 1956. — 87 с.
- Геотермические поиски полезных ископаемых / Лялько В. И. [и др.]. — Киев: Наук. думка, 1979. — 146 с.
- Гмид Л. П. Эпигенетическое минералообразование в зонах ВНК как показатель времени формирования залежи / Л. П. Гмид // Тр. ВНИГРИ. — Л., 1978. — С. 50–56.
- Ерофеев В. Ф. О природе тепловых аномалий Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна / В. Ф. Ерофеев // Советская геология. — 1969. — С. 81–91.
- Есипович С. М. К оценке перспектив нефтегазоносности некоторых участков Азовского моря / С. М. Есипович, С. Г. Семенова, О. И. Семенец // Геология и полезные ископаемые мирового океана. — 2010. — № 3 (21). — С. 20–28.
- Кутас Р. И. Тепловое поле Украины / Р. И. Кутас, В. В. Гордиенко. — К.: Наук. думка, 1971. — 140 с.
- Малашенко Ю. Р. Участие микроорганизмов, окисляющих газообразные углеводороды в круговороте углерода в биосфере / Ю. Р. Малашенко, В. А. Романович, В. И. Лялько // Изв. АН СРСР. Сер. биол. — 1975 — № 5. — С. 682–693.
- Патент України UA21783A. Спосіб пошуку покладів углеводнів сейсморозвідкою / Тимошин Ю. В., Семенова С. Г.; опубл. 1998, Бюл. № 2.
- Прямые геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений в СРСР / В. А. Алексеев [и др.] // Тр. ВНИИГТ. — 1968. — вып. 4. — С. 5–57.
- Сардаров С. С. Тепловой поток, формируемый нефтегазоносными структурами / С. С. Сардаров, В. В. Суэтов // Советская геология. — 1975. — № 2. — С. 122–126.
- Соколов В. А. Геохимия природных газов / В. А. Соколов. — М.: Недра, 1971. — 334 с.
- Спектральные свойства объемных интерференционных волн в литосфере / О. М. Харитонов. — К.: Наук. думка, 1988. — 240 с.
- Тимошин Ю. В. Перспективы прямых поисков глубоководных залежей углеводородов / Ю. В. Тимошин, С. Г. Семенова, Е. А. Скворцова // Докл. АН УССР, серия “Б” геологич., химич. и биологич. науки. — 1988. — № 7. С. 20–24.
- Gupta R. P. Satellite data can cost effectively show oil field thermal anomalies/ R. P. Gupta, R. Chakraborty and A. K. Awasthi // Oil and Gas Jour. — 2009. — Nov. 2, — pp. 26–27.

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ И ГЕОТЕРМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

С. Г. Семенова, С. М. Есипович, А. Д. Бондаренко, Е. А. Рыбак

Прогнозирование залежей углеводородов по сейсмическим и геотермическим данным проводится благодаря исследованию следа диффузионно-эффузионного потока (СДЭП), который всегда образуется над залежами нефти и газа и состоит из восстановительной (непосредственно над залежью) и окислительной (выше по разрезу) зон этой области. По сейсмическим и геотермическим свойствам эти зоны отличаются от тех, что окружают или покрывают их.

Ключевые слова: залежь углеводородов, след диффузионно-эффузионного потока (СДЭП), восстановительная и окислительная области СДЭП, эпигенетические изменения отложений, сейсмический эффект, тепловое поле

METHOD OF HYDROCARBON ACCUMULATION DEPOSITS PREDICTION BY THE SEISMIC AND GEOTHERMAL DATA

S. V. Semenova, S. M. Esypovich, A. D. Bondarenko, O. A. Rybak

The prediction of the hydrocarbons accumulation deposits by the seismic survey and geothermal data of the territory are conducted due to research of the trail of diffusion-effusion flux (TDEF), which is always formed over the oil deposits and consist of zone of reduction (directly over the deposits) and zone of oxidation (above a distribution of the deposits). According to seismic and thermal properties, these zones, as well as hydrocarbon accumulation deposits, differ from higher sediments which cover them.

Key words: hydrocarbon accumulation, the trail of diffusion-effusion flux (TDEF), reduction and oxidation zones TDEF region, epigenetic changes sediments, seismic effect, thermal field

УДК 528.88:519.2:553.98

Геологічна інтерпретація результатів інтеграції даних багатоспектрального космічного знімання і геолого-геофізичних даних для прогнозування нафтогазоперспективних зон на регіональному рівні (на прикладі Північно-Західного шельфу Чорного моря)

О. В. Седлєрова*

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

Проведено аналіз і відбір критеріїв оцінки нафтогазоносності шельфу для проведення інтеграції геопросторових даних. В результаті інтеграції даних багатоспектрального космічного знімання і геолого-геофізичних даних одержано карти просторового розподілу інтегрального індикатора нафтогазоносності на регіональному рівні для Північно-Західного шельфу Чорного моря. Отримані дані дають уявлення про нафтогазоперспективні зони, а також їх приуроченість до зон трансрегіональних, регіональних, зональних розломів і зон розущільнення осадових порід.

Ключові слова: інтеграція даних, прогнозування нафтогазоперспективних зон, геологічні структури

© О. В. Седлєрова. 2015

1. Вступ

Сучасні технології використання матеріалів ДЗЗ у геологопошукових дослідженнях базуються на інтеграції аерокосмічної інформації, яка є складовою частиною ГІС і обробляється разом з іншими геопросторовими даними широкого спектру картографічних і цифрових геологічних, геофізичних, екологічних, геохімічних, метеорологічних та інших даних за допомогою відповідного програмного забезпечення [4]. Це дозволяє усунути елемент суб'єктивізму, який має місце при візуальному дешифруванні панхроматичного зображення або окремих спектральних каналів. Візуальна інтерпретація значного масиву геолого-геофізичної площинної інформації так само містить у собі елементи суб'єктивізму. Інтегрування дистанційних та геолого-геофізичних просторових даних дає змогу автоматизувати процес оцінювання площі, що досліджується, та встановити ступінь її подібності до еталонної ділянки (родовища) [9, 10]. Класифікація дистанційних даних з урахуванням геолого-геофізичної складової дає можливість без створення спеціальних бібліотек для геологічних об'єктів визначати ступінь подібності прогнозних ділянок і типових еталонів у певному регіоні та виокремлювати ділянки різного рангу перспективності. Особливо актуальним є подібний підхід на значних за площею територіях з недостатнім рівнем детального дослідження саме для прийняття рішень у постановці подальших детальних геологорозвідувальних робіт.

Ступінь вивченості акваторії Північно-Західного шельфу Чорного моря сейсмічними дослідженнями не на всіх ділянках високої якості. Цим пояснюються причини негативних результатів, отриманих на 11 площах [2].

Розбуреність акваторії Північно-Західного шельфу Чорного моря загалом по осадовому чохла становить біля 10 м/км^2 або біля $250\text{ км}^2/1\text{ св.}$ Однак, вона нерівномірна. Найкраще вивчена центральна частина Каркінітсько-Північнокримського прогину переважно по неглибокозалягаючих палеоценово-неогенових газоносних горизонтах.

Завдання науково-дослідних і тематичних робіт на даний момент полягає в науковій обробці матеріалів буріння та геофізики з метою уточнення геологічної будови, тектонічного та нафтогазогеологічного районування, обґрунтування критеріїв нафтогазоносності та переоцінки початкових сумарних ресурсів вуглеводнів з урахуванням нових геолого-геофізичних даних [2].

2. Територія досліджень

2.1. Основні риси геологічної будови Північно-Західного шельфу Чорного моря України

З позицій розломно-блокової тектоніки в межах Південно-Західного шельфу Чорного моря виділені наступні структурно-тектонічні елементи [3]: **Східноєвропейська платформа:** Південноукраїнська монокліналь, занурена частина Південноукраїнської монокліналі, Молдавська монокліналь, Переддобрудзький прогин; Криловський прогин,

*sedlerova@casre.kiev.ua

Кілійсько-Зміїне підняття, Каменська депресія, Горіхово-Суворівське підняття (виступ), Сулинська депресія (Алуатсько-Чалицька депресія); *Скіфська плита*: Каркінітсько-Північнокримський прогин, Каламітсько-Центральнокримське підняття, Альмінська западина (депресія); *Складчаста зона Північної Добруджі*: вал Губкіна, Крайовий уступ.

З позиції теорії літосферних плит геодинамічний режим Південноукраїнського регіону в альпійську тектонічну епоху зумовив переміщення та зіткнення літосферних плит, під час яких утворювалися покриви, складчастість і сформувалися, зокрема, гірські споруди Криму та Кавказу. Виходячи з глобальної будови Альпійсько-Гімалайського складчастого поясу виділяються два надпорядкові структурно-тектонічні елементи [3]: південна окраїна древньої Східноєвропейської платформи і західна частина Мізійсько-Скіфської епіорогенної зони (Скіфської плити). Шовна зона зчленування цих надпорядкових структур, з точки зору більшості дослідників, проводиться західніше Одеського розлому по Цигансько-Чадирлунзько-Балабанівській системі дислокацій. По Одеському порушенню вона зміщується на південь до Північноголіцинського субширотного розлому і трасується до району Каркінітської затоки, дещо північніше Бакальської коси. У фундаменті та нижніх горизонтах чохла широко розвинуті різноспрямовані тектонічні порушення, які об'єднуються в три системи: субмеридіональні — Одеське, Фрунзівсько-Арцизьке; субширотні — Кишинівське та північно-західні — Придністровське.

2.2. Нафтогазоносні і перспективні комплекси Північно-Західного шельфу Чорного моря України

У межах Північно-Західного шельфу Чорного моря розташовані складові двох нафтогазоносних провінцій: на захід від Одеського розлому — Балтійсько-Переддобрудзької та на схід — Чорноморсько-Північнокавказько-Мангизлацької [2].

У Чорноморсько-Мангизлацькій провінції на Північно-Західному шельфі Чорного моря виділена Північночорноморсько-Кримська нафтогазоносна область, яка простежується і на прилеглій суші Північного Причорномор'я та Кримського півострова. Вона розділяється на Північнокримський і Каркінітський нафтогазоносні райони, Таврійський, Північнокаркінітський, Каламітський та Центральнокримський нафтогазоперспективні райони.

У Північночорноморсько-Кримській нафтогазоносній області до основних нафтогазоносних і перспективних літолого-стратиграфічних комплексів належать: нижньокрейдовий — 22.8% сумарних ресурсів; верхньокрейдовий — 10.3%; палеоцен-еоценовий 22.3 %; олігоцен-нижньоміоценовий (май-

копський) — 17.2%; середньоміоценовий-пліоценовий 22.1% (за підрахунками станом на 2009 р.) [3].

3. Матеріали

Для оцінки перспектив нафтогазоносності великих територій та окремих літолого-стратиграфічних комплексів з сучасних поглядів нафтогазової геології структурно-тектонічні і літолого-фаціальні критерії є одними з основних [1]. Практично вони визначають величину потенційних ресурсів вуглеводнів, фазовий стан флюїдів і закономірності їх розміщення. Важливим є також врахування неотектонічного фактору, а також змін ландшафтів під впливом геохімічних, гідрогеологічних та інших факторів. Таким чином були зібрані дані, що створюють ознаковий простір, який був у подальшому використаний для аналізу нафтогазоперспективності зон на основі інтеграції даних. На першому етапі були проведені роботи по введенню всіх зібраних даних на територію дослідження в середовищі ArcGIS (рис. 1): карта залишкового гравітаційного поля, карта аномального магнітного поля, структурна карта відбивного горизонту IV (підшва нижньокрейдових відкладів), структурна карта відбивного горизонту III^m (P₁) (підшва палеогену), структурна карта відбивного горизонту II^a (P₁³) (підшва відкладів майкопу), батиметрична карта, карта фонду структур Південного нафтогазоносного регіону (родовища, прогнозні, прогнозно-перспективні та структури у бурінні), карта регіональних та зональних тектонічних порушень, схема лінеamentів та зон лінеamentів, теплові аномалії поверхні моря, аномалії хлорофілу, зони розповсюдження зависів.

Оскільки наявні дані перекривали Північно-Західний шельф Чорного моря не повністю, для подальшої обробки був обраний полігон неправильної форми, на площу якого були наявні виміри всіх визначених шарів даних.

Для статистичного аналізу та проведення інтеграції даних необхідно було створити карту позитивних і негативних еталонів. За позитивні еталони обрані відомі на Північно-Західному шельфі родовища газу і конденсату: Безіменне, Одеське, Південноголіцинське, Архангельське, Кримське (газові), Голіцинське, Шмідтівське, Штормове (газоконденсатні). Негативними еталонами ми вважали структури, виведені з буріння з негативним результатом: Прадніпровська, Флангова, Гамбурцева, Федорівська, Каркініцька, Десантна, Дельфін (рис. 2).

Окрім того, була проведена обробка мозаїки багатоспектральних космічних знімків космічного супутника Landsat-8, які характеризують розподіл певних компонентів морських ландшафтів: температури морської поверхні, хлорофілу і мінеральних зависів у товщі води (рис. 3.). Попередніми дослідженнями було встановлено, що тектонічні і геофлюї-

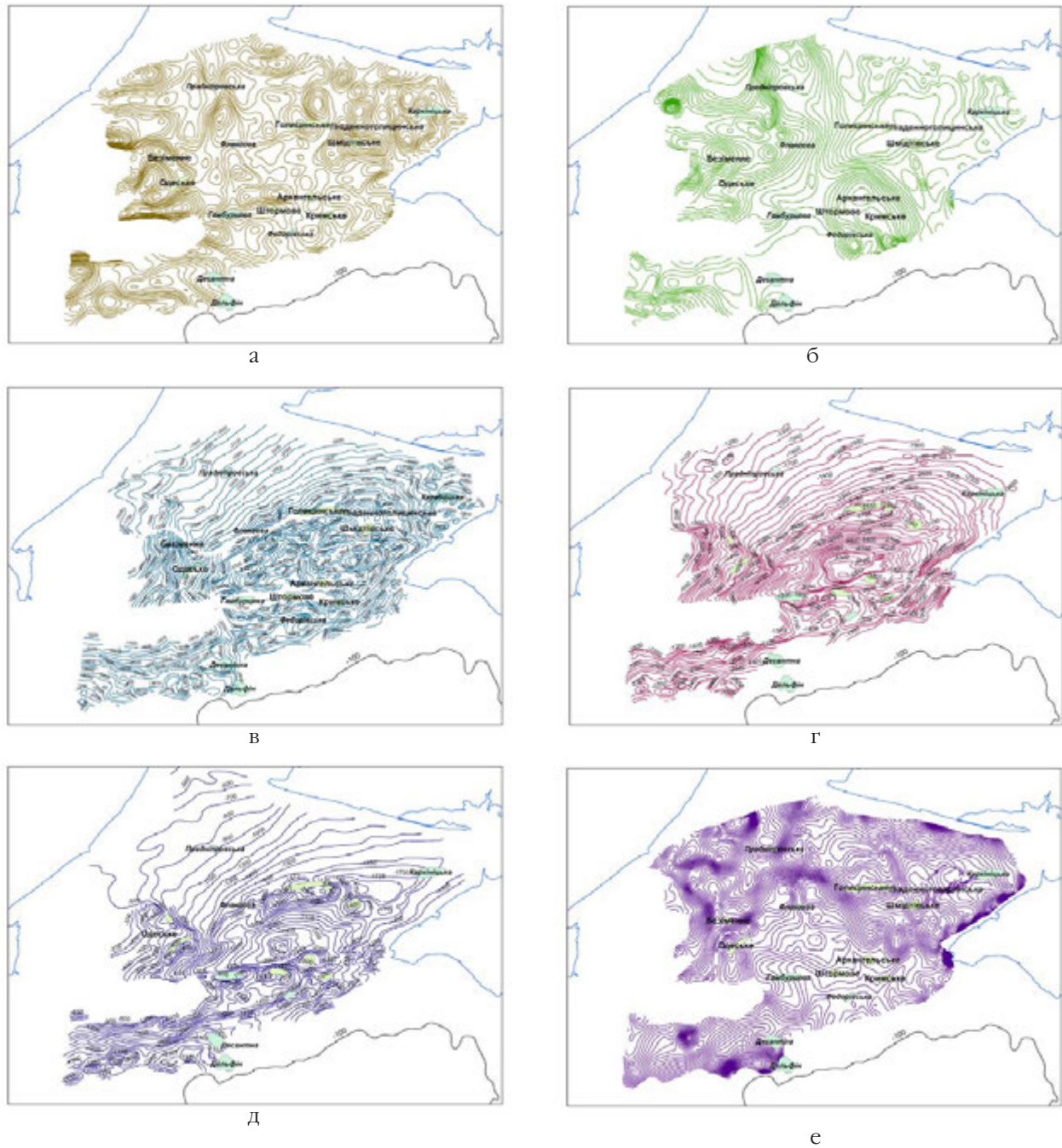


Рис. 1. Представлення геолого-геофізичної інформації у вигляді векторних .shp файлів:

а — карта залишкового гравітаційного поля; б — карта аномального магнітного поля; в — структурна карта відбивного горизонту IV (підшва нижньокрейдових відкладів); г — структурна карта відбивного горизонту III^m (P₁) (підшва палеогену); д — структурна карта відбивного горизонту III^a (P₁^a) (підшва відкладів майкопу); е — карта батиметрії за даними SRTM

додинамічні фактори впливають на розподіл і розвиток цих компонентів, тому, оброблені за певними програмами мозаїки багатоспектральних космічних знімків були додані до ознакового простору для проведення інтеграції даних Північно-Західного шельфу з метою його класифікації на перспективні і неперспективні зони у нафтогазоносному відношенні.

Для створення вихідного куба геопросторових даних був проведений пошук додаткових ознак - зон геодинамічного впливу активних розривних порушень, за якими можна з високою точністю локалі-

зувати родовища вуглеводнів. Для виявлення розривних порушень і зон їхнього геодинамічного впливу за даними дистанційного зондування виконувався лінеаментний аналіз. Для аналізу лінійних елементів використовувалися два різних підходи: статистичний аналіз і побудова лінеаментів. У статистичному аналізі оцінювалося розташування лінійних елементів кожного напрямку на досліджуваній площі.

Особливості зображень космічних знімків шельфу формуються проявами розповсюдження хлоро-

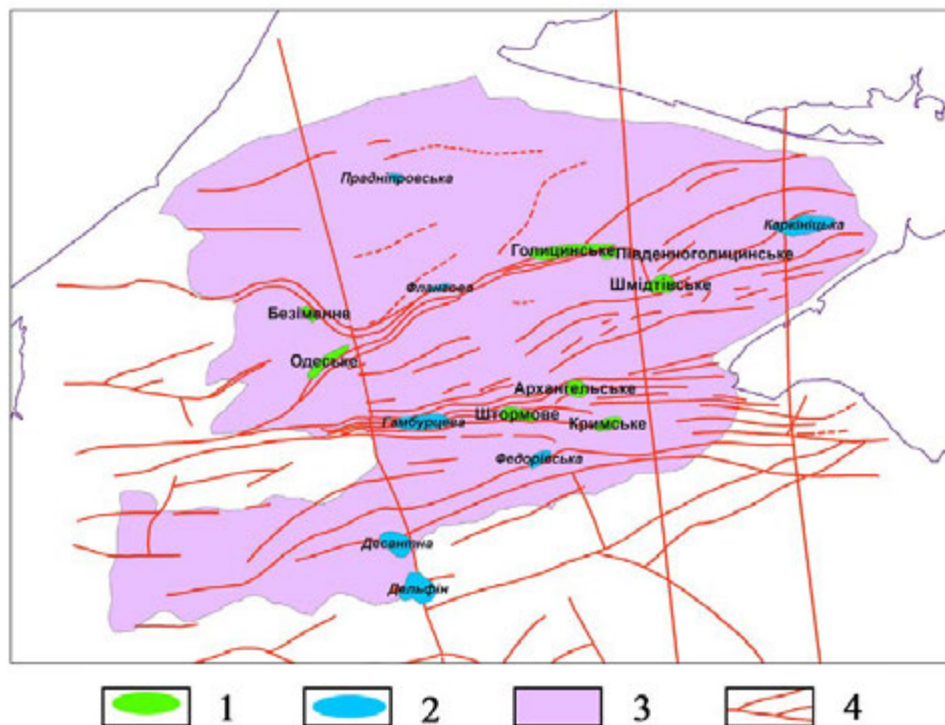


Рис. 2. Північно-Західний шельф Чорного моря. Карта родовищ і структур: 1 — газові і газоконденсатні родовища; 2 — структури, виведені з буріння з негативним результатом; 3 — площа полігону досліджень; 4 — тектонічні порушення за геофізичними даними

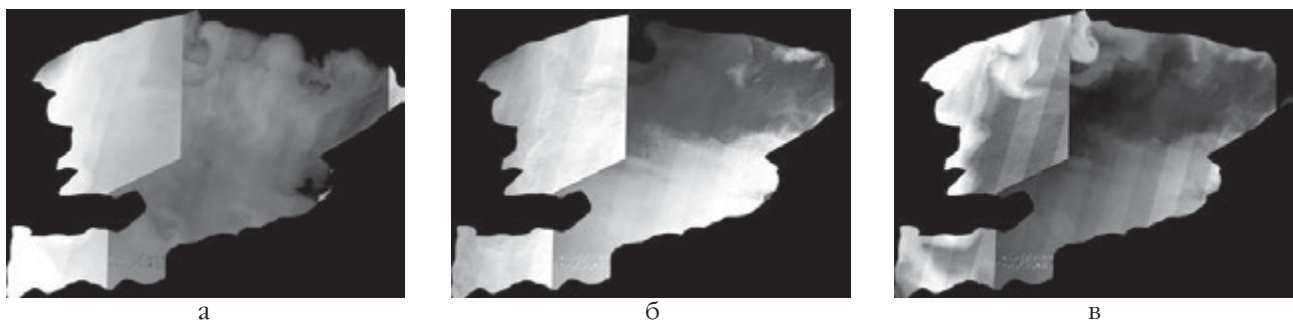


Рис. 3. Тематичні продукти обробки супутникових знімків Landsat-8 на полігон дослідження у межах Північно-Західного шельфу Чорного моря: а — продукт SST температура морської поверхні; б — розподіл хлорофілу у товщі води; в — розподіл мінеральних зависів у товщі води

філу, зависів та температурного поля поверхні моря. Безумовно, на їх розподіл і розповсюдження у товщі моря мають вплив зміни фізичних полів, механічні переміщення блоків земної кори, геохімічні перетворення, які визначаються локальними та регіональними закономірностями переносу речовини та енергії у надрах і товщі води. Таким чином, аналізуючи особливості просторового розподілу компонентів у товщі води, можна відтворити геодинамічну модель досліджуваного регіону.

Результатом дешифрування космічних знімків із виділенням прямолінійних елементів зображення є вихідна схема лінементів (рис. 4.). Її складовими є різноспрямовані лінії — елементарні лінементи відповідного порядку. Порядок лінементів визначається масштабом і просторовою розрізненістю вихідного зображення.

Похідна карта лінементів дозволяє перейти до аналізу континуального лінеamentного поля, яке відображає просторову неоднорідність тектонічної роздробленості земної кори, її тектонічно-напружений стан. Ступінь генералізації дистанційних даних, що є основою для виділення лінеamentів, та масштаб підсумкових карт визначають розмір вікна-гріда. У той же час, варіювання параметрами інтерполяції дозволяє виділяти аномалії поля лінеamentів у залежності від масштабу та особливостей геологічної будови території.

За результатами побудов з використанням відпрацьованих методик лінеamentного аналізу були складені карти: загальної щільності лінеamentів, щільності лінеamentів певних напрямків, щільності лінеamentів.

Щільність лінеamentів інтерпретується як канали

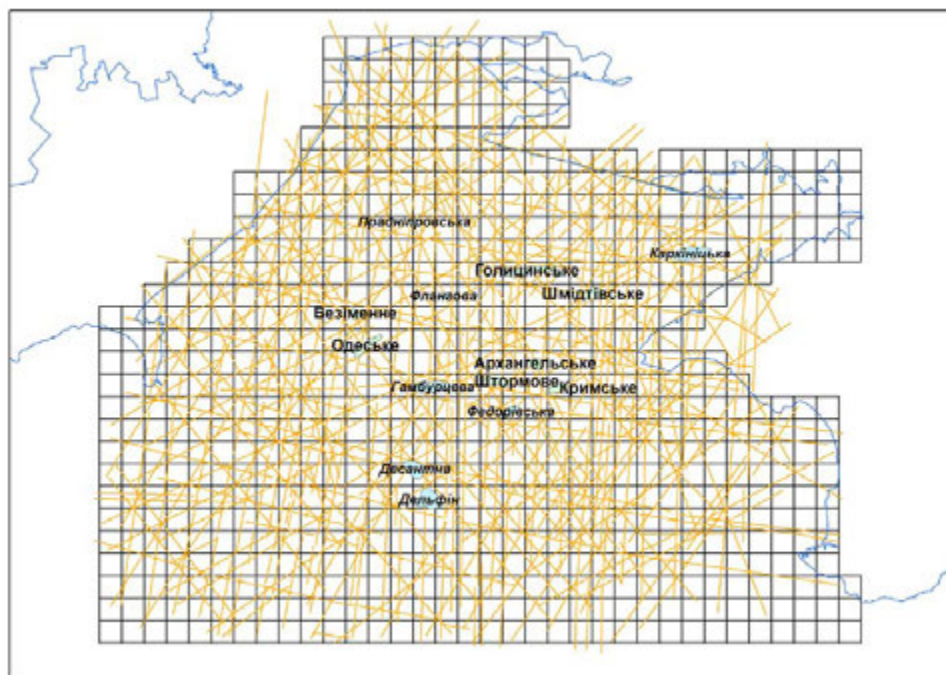


Рис. 4. Вихідна схема лінементів Північно-Західного шельфу Чорного моря за даними В. М. Перерви, 1994 р. [5] (сітка 10×10 км)

міграції вуглеводнів та зони розуцільнення, що просторово збігаються з пастками вуглеводнів, за якими відбувається перенос енергії та речовини з нижніх горизонтів земної кори в осадовий чохол.

Розрахунки полів щільності лінійних елементів різного напрямку проводилися в програмному продукті ArcGIS у напівавтоматичному режимі для подальшої інтеграції та геолого-геофізичної інтерпретації (рис. 5.).

Геофізичними методами дослідження земної поверхні (сейсмогеофізичними, магнітометричними, гравіметричними) з великою мірою достовірності визначається розрив щільності шарів осадового чохла і порід фундаменту зі зміщенням як в горизонтальному, так і у вертикальному напрямках, що відповідає розломам регіонального і зонального масштабу. Аналіз наявних структурних карт показав, що більш глибоким горизонтам відповідають регіональні розломи, які, ближче до денної поверхні, розпадаються на низку менших розломів, утворюючи зони розуцільнення осадової товщі. Враховуючи вплив виділених за геофізичними даними розломних зон на нафтогазоносність полігона, для Північно-Західного шельфу створена зведена схема розломів і тектонічних порушень різного масштабу за структурними горизонтами від нижньої крейди до майкопу (рис. 6.). Тому при створенні гіперкубу даних необхідно враховувати цю апріорну інформацію. Найбільш адекватно врахувати вплив розривних порушень на загальну геофлюїдодинаміку регіону і локалізацію нафтогазових структур можливо за принципом “лінеamentного аналізу”. Тобто у програмному продукті ArcGIS у напівавтоматичному режимі створені карти загальної щільності розривних порушень і їх густини (рис. 7.).

4. Процедура інтегрування геопросторової інформації на платформі FME

Ефективним засобом реалізації процедур інтегрування гетерогенної геопросторової інформації є програмна платформа FME, що дає змогу трансформувати та конвертувати геопросторові дані більш ніж 250 поширених форматів. FME побудовано так, щоб охопити всі можливі геометричні та атрибутивні перетворення [8].

Вхідними даними для інтеграції даних Північно-Західного шельфу Чорного моря є просторові шари, що містяться у відповідних файлах різних форматів та систем координат:

- рельєф місцевості SRTM v2, формат DEM HGT;
- температура поверхні SST, формат ENVI BIN;
- хлорофіл у товщі води, формат ENVI BIN;
- розподіл мінеральних зависів, формат ENVI BIN;
- карти щільності лінементів, 6 шт., формат GeoTIFF;
- карти щільності розломів, 2 шт., формат GeoTIFF;
- карта залишкового гравітаційного поля, формат ArcGIS SHP;
- карта аномального магнітного поля, формат ArcGIS SHP;
- карти структурних горизонтів, 3 шт., формат ArcGIS SHP;
- карта родовищ і структур, на яких отриманий негативний результат буріння, формат ArcGIS SHP.

Після підключення всіх джерел в середовищі FME створюються зв'язки між вхідними файлами, перетворювачем та вихідним файлом. В результаті виконання створеного проекту був сформований вихід-

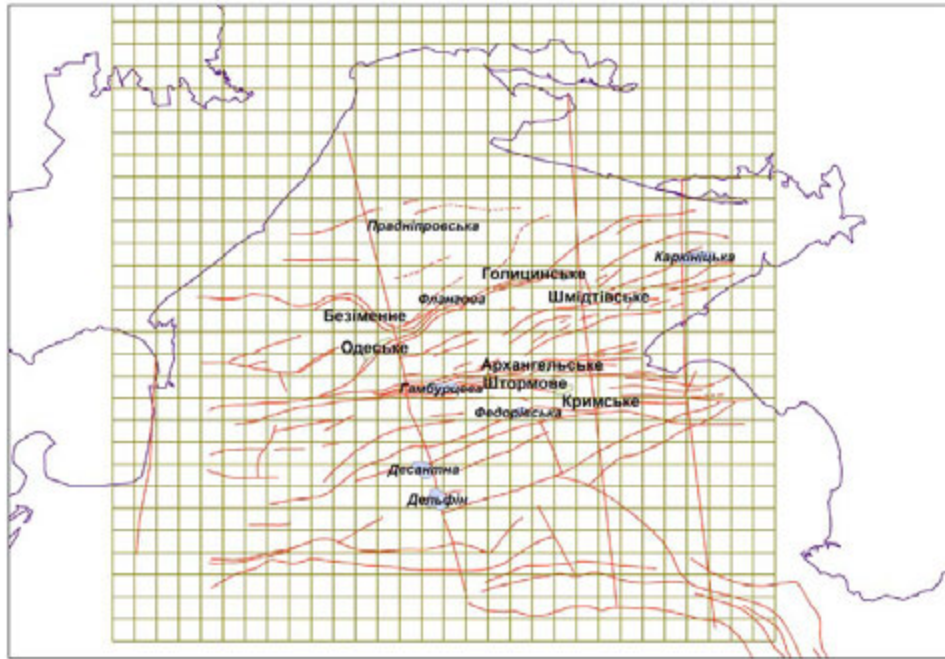
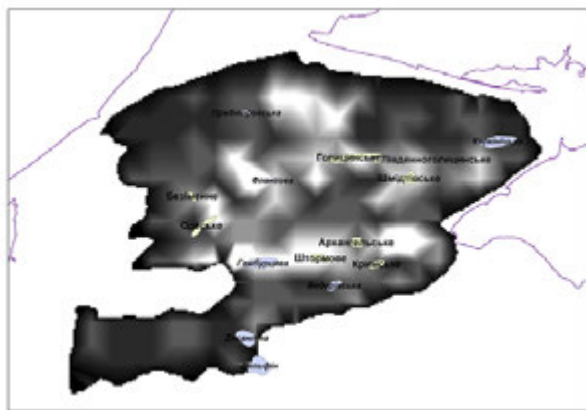
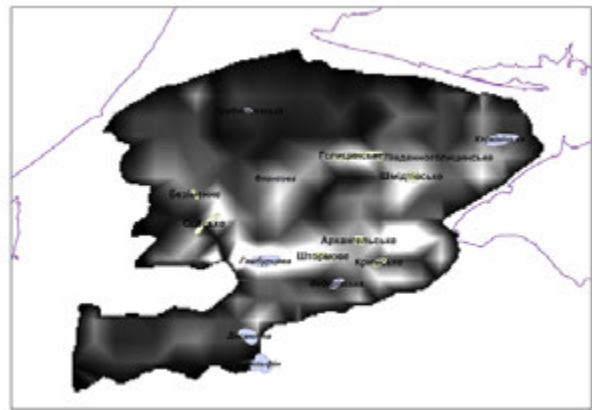


Рис. 6. Вихідна схема регіональних і зональних розломів Північно-Західного шельфу Чорного моря за геофізичними даними ДРГП "Причорноморгеологія" (сітка 10 × 10 км)



а



б

Рис. 7. Карти щільності (а) та густини (б) регіональних і зональних розломів Північно-Західного шельфу Чорного моря

5. Результати

За способом нормування даних було отримано декілька варіантів карт розподілу вихідної імовірності. На рис. 8 представлено розподіл вихідної імовірності, отриманий в результаті використання лінійного перетворення в одиничний відрізок $\tilde{X} \in [0,1]$ виду:

$$\tilde{X} = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}, \quad (1)$$

де $\tilde{X}$ і X_i — нові і старі значення векторів ознак відповідно; $X_{i\max}$ і $X_{i\min}$ — максимальне і мінімальне значення векторів ознак відповідно.

У зв'язку з тим, що для інтеграції була використана мозаїка багатоспектральних знімків, це відобразилось

на підсумковій карті. В результаті інтеграції отримані дані трьох сегментів з різним рівнем відображення імовірності, це ускладнює рівноцінну інтерпретацію. Проте, за результатами проведеного аналізу отриманої карти можна зробити наступні висновки:

- всі родовища (Безіменне, Одеське, Голіцинське, Південноголіцинське, Шмідтівське, Архангельське, Штормове, Кримське.) чітко відображаються на карті розподілу вихідної імовірності, як ділянки з найбільшим значення імовірності (див. рис. 8, таблиця 1);
- структури, підготовлені до буріння, та виявлені геофізичними методами (карта фонду структур ЛВДГРІ, 2012) проявилися з різним ступенем ймовірності (від 0.5 до 0.95) (рис. 9, таблиця 1);
- структури, які були виведені з буріння з негатив-

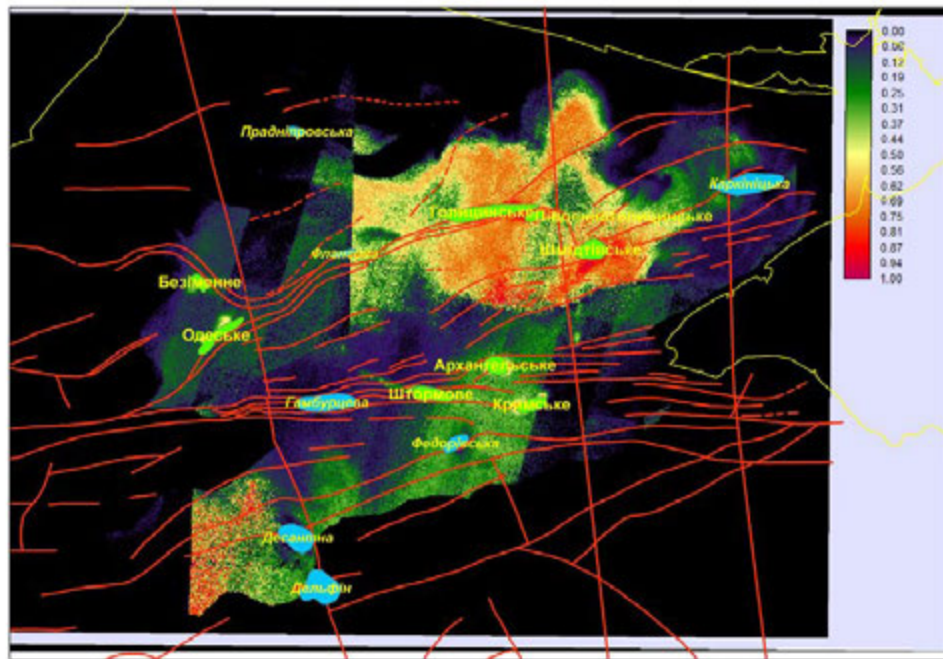


Рис. 8. Північно-Західний шельф Чорного моря. Розподіл вихідної імовірності відповідності позитивним еталонам за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням лінійного перетворення

Таблиця 1.

Проявлення структур різного рангу на результуючій карті розподілу вихідної імовірності за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням лінійного перетворення (рис. 9.)

Назва	Ранг структури	Значення імовірності
Безіменне	родовище газове	0.5
Одеське	родовище газове	0.5
Голіцінське	родовище газоконденсатне	0.95
Південнооголіцінське	родовище газове	0.90
Шмідтівське	родовище газоконденсатне	0.95
Архангельське	родовище газове	0.8
Штормове	родовище газоконденсатне	0.8
Кримське	родовище газове	0.8
Біостромна	підготовлена до буріння	брак даних
Південнофлангова	- « -	0.4
Чарівна	- « -	0.5
Малікова	- « -	0.5
Мирна	- « -	0.5
Рифтова	- « -	0.3 (не виявилась)
Осетрова	- « -	0.3 (не виявилась)
Понтійська	- « -	0.5
Сельського	- « -	0.45
Штормова Глибинна	- « -	0.65
Штильова	- « -	0.45
Прибійна	- « -	брак даних
Сх.Шмідта	- « -	0.8
Альбатрос	- « -	0.55
Комсомольська	виявлені геофіз. дослідж.	0.6
Зональна	- « -	0.8
Північнооголіційська	- « -	0.4 на заході 0.65 на сході
Миколаївська	- « -	0.3
Мартівська	- « -	брак даних
Західнокрейдяна	- « -	брак даних
Міжводненська	- « -	0.05
Прадніпровська	структура, виведена з буріння з негативним результатом	брак даних
Флангова	- « -	0.15
Гамбурцева	- « -	0.05
Федорівська	- « -	0.25
Каркінська	- « -	0.25 на заході до 0.05 на сході
Десантна	- « -	0.05
Дельфін	- « -	0.25

ним результатом (Прадніпровська, Флангова, Гамбурцева, Федорівська, Каркініцька, Десантна, Дельфін), відповідають низькому рівню імовірності (дис. рис. 8, таблиця 1).

Ще один з варіантів карти розподілу вихідної імовірності був отриманий в результаті підвищення інформаційної насиченості вхідної інформації шляхом сумісної регуляризації входів. Замість того, щоб використовувати для нормування індивідуальні дисперсії, були розглянуті вхідні дані сумісно та запропоноване таке лінійне перетворення, яке максимізує сумісну ентропію. Для спрощення задачі замість більш складної умови щодо статистичної незалежності обмежились тим, що вхідні дані після такого перетворення мають бути декорельовані.

На рис. 10 показаний результат. Слід відмітити, що подібний підхід дозволив виділити чіткі зони, які підкреслюють зони розуцільнення, вузли перетину розломів різних напрямів, які є перспективними для наявності скупчень вуглеводнів. Одночасно чітко визначились зони концентрації структур, виявлених геофізичними методами, хоча деякі виявлені і підго-

товлені до глибокого буріння структури потрапили в зони низької імовірності (таблиця 2).

6. Висновки

В результаті інтеграції даних багатоспектрального космічного знімання і геолого-геофізичних даних одержано карти просторового розподілу інтегрального індикатора нафтогазоносності на регіональному рівні для Північно-Західного шельфу Чорного моря. Оскільки дані, які були використані для інтеграції, мали масштаб регіонального рівня, отримані результати дають уявлення про нафтогазоперспективні зони регіонального масштабу, а також їх приуроченість до зон трансрегіональних, регіональних, зональних розломів і зон розуцільнення осадових порід. За наявності даних детальнішого рівня (з більшою інформаційною розрізненістю) застосування цієї технології дасть можливість отримати результати класифікації певної нафтогазоносної зони або, навіть, певної нафтогазоносної структури.



Рис. 9. Схема зіставлення розподілу вихідної імовірності за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням лінійного перетворення та карти фонду структур (за даними Львівського відділення УкрДГРІ, 2012 р.) для Північно-Західного шельфу Чорного моря

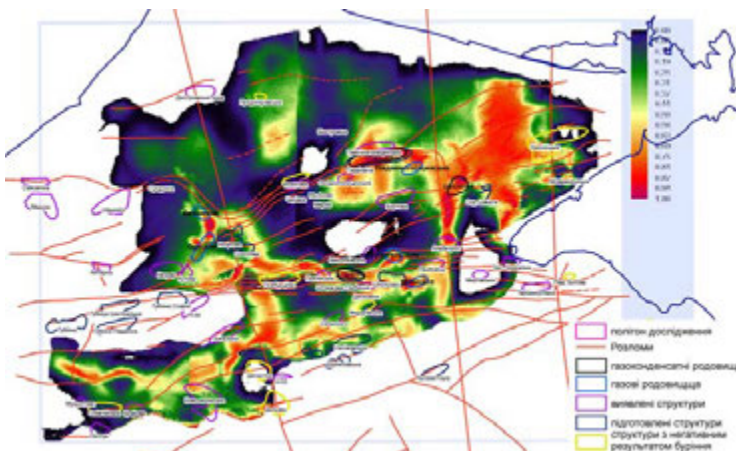


Рис. 10. Схема зіставлення розподілу вихідної імовірності за результатами інтеграції геопросторових даних з використанням декореляції даних та карти фонду структур (за даними Львівського відділення УкрДГРІ, 2012 р.) для Північно-Західного шельфу Чорного моря

Таблиця 2.

Проявлення структур різного рангу на результуючій карті розподілу вихідної імовірності (результат інтеграції геопросторових даних, рис. 10.)

Назва	Ранг структури	Значення імовірності
Безіменне	родовище газове	від 0.75 до 0.35
Одеське	родовище газове	від 0.75 до 0.45
Голіцінське	родовище газоконденсатне	0.95
Південноголіцінське	родовище газове	від 0.85 до 0.60
Шмідтівське	родовище газоконденсатне	0.95
Архангельське	родовище газове	0.85
Штормове	родовище газоконденсатне	0.85
Кримське	родовище газове	від 0.85 до 0.60
Біостромна	підготовлена до буріння	0.15
Південнофлангова	««	0.15
Чарівна	««	0.15
Малікова	««	0.50
Мирна	««	0.15
Рифгова	««	0.6
Осетрова	««	0.6
Понтійська	««	0.7
Сельського	««	0.5
Штормова Глибинна	««	0.65
Штильова	««	від 0.75 до 0.50
Прибійна	««	від 0.75 до 0.50
Сх. Шмідта	««	від 0.75 до 0.50
Альбатрос	««	0.85
Комсомольська	виявлені геофіз. дослідж.	від 0.75 до 0.50
Зональна	««	0.5
Північноголіцінська	««	від 0.85 до 0.50
Миколаївська	««	0.15
Мартівська	««	брак даних
Західнокрейдяна	««	0.45
Міжводненська	««	0.75
Прудніпровська	структура, виведена з буріння з негативним результатом	0.15
Флангова	««	0.10
Гамбурцева	««	0.15
Федорівська	««	0.25
Каркініцька	««	0.45 на заході до 0.05 на сході
Десантна	««	0.05
Дельфін	««	0.15

Література

- Галко Т. М. Критерії прогнозування нафтогазоносності українського сектора Азовського і Чорного морів // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2013. — № 1. — С. 104–114.
- Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря / П. Ф. Гожик [та ін.] — Київ: вид. дім ЕКМО, 2007. — 232 с.
- Нафтогазоперспективні об'єкти України. Теоретичне і практичне обґрунтування пошуків нафти і газу в акваторіях України / П. Ф. Гожик [та ін.] — Київ: вид. дім ЕКМО, 2010. — 200 с.
- Новые возможности изучения особенностей геологического строения и оценки перспективности нефтегазовых объектов на основе применения технологии интегральной интерпретации комплекса геолого-геофизических данных / А. П. Петровский [и др.] // Геоинформатика. — 2005. — № 3 — С. 24–26.
- Новые данные о разломно-блоковой структуре северо-западного шельфа Черного моря по данным аэрокосмогеологических исследований (в связи с нефтегазоносностью) / В. М. Перерва [та ін.] // Геол. журн. — 1994. — № 4–6. — С. 78–84.
- Підхід до інтеграції дистанційних та геолого-геофізичних даних на основі теорії свідчень Демпстера-Шейфера / М. О. Попов [та ін.] // Доповіді НАН України. — 2015. — № 4. — С. 94–98.
- Попов М. О. Классификация объектов на многоспектральных / гиперспектральных аэрокосмических изображениях на основе теории свидетельств Демпстера-Шейфера / М. О. Попов, М. В. Топольницький // Математичні машини і системи. — 2014. — № 1. — С. 58–69.
- Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых / М. А. Попов [и др.] // Ученые записки Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. — 2012. — Т. 25(64). — № 1. — С. 177–190.
- Седлєрова О. В. Обґрунтування комплексної методики прогнозу нафтогазоперспективних об'єктів українського сектора Азовського моря з використанням даних дистанційного зондування Землі: автореф. дис. ... канд. геол. наук: 05.07.12 / Ольга Володимирівна Седлєрова — Київ, 2008. — 20 с.
- Станкевич С. А. Інтеграція дистанційних та геолого-геофізичних просторових даних при пошуку вуглеводнів на морському шельфі / С. А. Станкевич, О. В. Седлєрова // Геоінформатика. — 2007. — № 3. — С. 77–81.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ЗОН НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ШЕЛЬФА ЧЕРНОГО МОРЯ)

О. В. Седлерова

Проведен анализ и отбор критериев оценки нефтегазоносности шельфа для проведения интеграции геопространственных данных. В результате интеграции данных многоспектральной космической съемки и геолого-геофизических данных получены карты пространственного распределения интегрального индикатора нефтегазоносности на региональном уровне для Северо-Западного шельфа Черного моря. Полученные данные дают представление о нефтегазоперспективных зонах, а также их приуроченности к зонам трансрегиональных, региональных, зональных разломов и зон разуплотнения осадочных пород.

Ключевые слова: интеграция данных, прогнозирования нефтегазоперспективных зон, геологические структуры

GEOLOGICAL INTERPRETATION OF THE DATA INTEGRATION MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGERY AND GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA FOR PREDICT OIL AND GAS ZONES AT THE REGIONAL LEVEL (IN THE EXAMPLE OF THE NORTH WEST SHELF OF THE BLACK SEA)

O. V. Sedlerova

The analysis and selection criteria for evaluating the offshore oil and gas potential for the integration of geospatial data carried out in the article. As a result, data integration multispectral satellite imagery and geological and geophysical data obtained maps of the spatial distribution of the integral indicator of oil and gas potential at the regional level for the North-Western Black Sea shelf. These data give an idea of the areas of oil and gas, as well as their affinity to trans-regional, regional faults and zones of decompression sedimentary rocks.

Keywords: data integration, forecasting oil and gas zones, geological structures

УДК 551.3:528.88(477)

Використання космічної інформації для прогнозу розвитку небезпечних геологічних процесів (підтоплення та затоплення) на прикладі окремих районів м. Києва

В. Є. Філіпович *

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

На основі аналізу просторово-часових рядів даних космічної зйомки у тепловому діапазоні та цифрових моделей рельєфу прогнозується розвиток ділянок підтоплення та затоплення в окремих районах м. Києва. Головна причина затоплень — рельєф міста і порушення природної фільтрації зливових вод внаслідок міської забудови. Основний вклад у розвиток ділянок підтоплення вносять баражі на шляхах ґрунтових вод похованої гідромережі.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, тепла космічна зйомка, цифрові моделі рельєфу, підтоплення, затоплення

© В. Є. Філіпович. 2015

В умовах сучасного росту урбанізації відбувається інтенсифікація небезпечних екзогенних процесів внаслідок порушення стійкості природних ландшафтів і техногенного навантаження на геологічне середовище. На території Київської агломерації до одних із найбільш загрозливих процесів відносяться процеси підтоплення ґрунтів і затоплення окремих територій внаслідок зливових опадів і катастрофічних повеней.

За рахунок затоплення і підтоплення істотно погіршуються інженерно-геологічні властивості ґрунтів, порушується стійкість літогенної основи, руйнуються фундаменти та підземні комунікації, що веде до деформацій надземної частини будівель і споруд. Застійний гідрологічний режим у місцях накопичення ґрунтових вод погіршує санітарно-епідеміологічний стан міста. Прогнозування динаміки розвитку процесів підтоплення і затоплення, визначення ареалів їх розповсюдження та запобігання цим несприятливим для життєдіяльності людини явищам є важливим завданням геоecологічних досліджень на урбанізованих територіях. Таким чином дослідження процесів підтоплення і його наслідків для екології міста є достатньо актуальною.

З розвитком космічного сектору досліджень геологічного середовища з'явився потужний інструмент моніторингу довкілля і зокрема динаміки небезпечних екзогенних процесів. Становлення і розвиток методів аерокосмічних досліджень у гідрогеології пов'язано з іменами багатьох українських вчених, серед яких значний вклад внесли В. І. Лялько, М. М. Митник, Л. Д. Вульфсон, Б. О. Ніколаєнко, О. О. Янцевич, О. М. Трофимчук, А. Г. Мичак, О. М. Терещенко та ін. На сучасному рівні подальший розвиток застосування космічної інформації у даль-

ньому (тепловому) ІЧ-діапазоні при вирішенні екологічних задач отримав у Центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НА України.

Зауважимо, що при застосуванні теплових космічних даних при вивченні урбанізованих територій забудовані площі, як правило, виключались із аналізу [1]. В даній роботі розглядаються можливості комплексування даних обробки теплового космічного зондування з аналізом цифрових моделей рельєфу і гідрогеологічних даних саме для забудованих територій міста.

Як приклад наводяться дві ділянки м. Києва, розташовані у різних частинах міста з неоднаковими ландшафтними умовами.

Перша ділянка охоплює центральну частину міста (рис. 1 А) і характеризується пересіченою місцевістю з перепадом абсолютних висот до 90 м. Друга ділянка розташована на терасі р. Дніпро і характеризується плоским рівнинним рельєфом (рис. 2).

В умовах щільної забудови, запечатування природного ґрунтового-рослинного шару асфальтобетонним покриттям і значних перепадів рельєфу, у разі тривалих зливових дощів, або швидкого танення снігу виникає загроза затоплень багатьох територій міста.

На рис. 1 показано результати послідовного аналізу матеріалів космічних та гідрогеологічних даних для прогнозу ділянок можливого затоплення території в районі пл. Перемоги. За матеріалами космічного знімання та побудованої цифрової моделі рельєфу з комп'ютерним виділеннями ліній поверхневого стоку фіксуються декілька вузлів концентрації поверхневого стоку у районі Караваєвих дач, північних платформ Київського залізничного вокзалу, універмагу “Україна” та залізничного мосту через вул. Л. Толстого (рис. 1 А, Б). Лінії стоку, що трасуються у південно-східному та південному напрямку, проходять по аре-

*filin@casre.kiev.ua

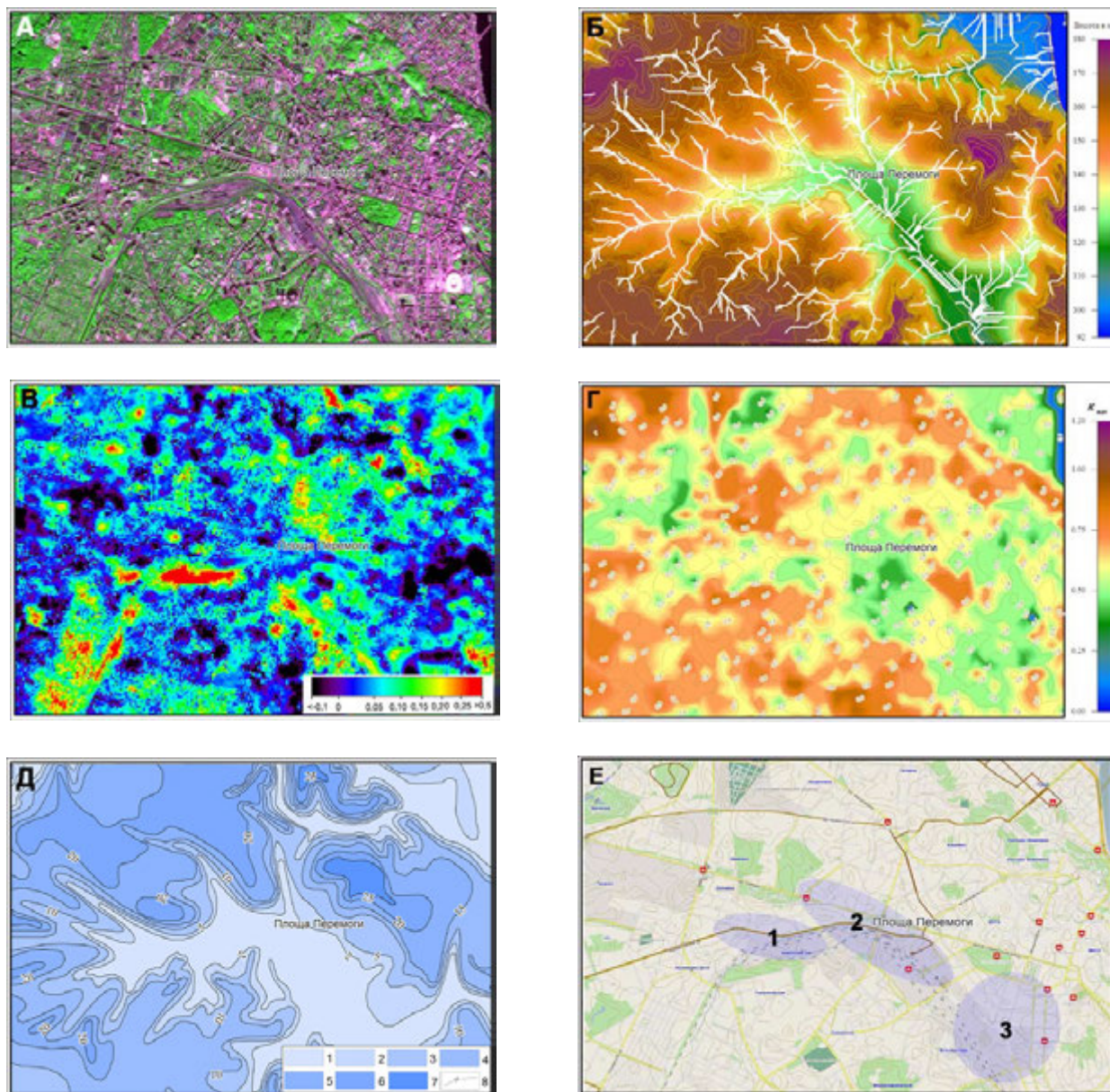


Рис. 1. Приклад послідовного аналізу космічної та гідрогеологічної інформації при прогнозуванні зон затоплення внаслідок аномальних метеорологічних явищ (зливові дощі, швидке танення снігу):

А — космічне зображення ділянки досліджень, КЗ “Січ-2” 05.10.12; Б — цифрова модель рельєфу з векторами стоку поверхневих вод; В — карта приросту температури поверхні міського середовища за даними часового аналізу теплової космічної зйомки (1985–2014 рр.); Г — фрагмент карти випаровуваності з поверхні міського середовища за даними обробки космічних матеріалів (В. І. Горний, С. Г. Крицук та ін., 2015, НДЦЕБ РАН, Санкт-Петербург); Д — фрагмент карти глибини залягання ґрунтових вод за усередненими даними 1967–2007 рр. (В. І. Лялько, А. В. Матошко, О. Р. Спиця, 2007, ЦАКДЗ НАН України, Київ); Е — прогнозні ділянки затоплення та потенційного підтоплення.

Умовні позначення: Д — глибина залягання першого від поверхні водоносного горизонту: 1 — < 2 м, 2 — 2–5 м, 3 — 5–10 м, 4 — 10–15 м, 5 — 15–20 м, 6 — 20–25 м, 7 — > 25 м, 8 — ізолінії глибин залягання ґрунтових вод. Е — прогнозні ареали можливого затоплення: 1 — район залізничної станції Караваєв дачі, 2 — район пл. Перемоги, 3 — район вул. Григоренка та Олімпійського стадіону

алам з низькими значеннями випаровуваності (рис. 1 Г), які переважно приурочені до ділянок щільної забудови та з низьким ступенем відкритого ґрунтового-рослинного покриття. Перепад абсолютних висот рельєфу на цих ділянках досягає від 50–55 м на 2–2,5 км (північно-західна частина) до 60–70 м на 1–1,5 км (північно-східна). В таких умовах зливові дощі приводять до формування бурхливих потоків води, що стікає з київських пагорбів вздовж заасфальтованих вулиць до пл. Перемоги і долини р. Либідь. Зливово ка-

налізація та колектори швидко заповнюються та переповнюються великим об'ємом води, відбувається підпір зливостоків високим рівнем води р. Либідь, що призводить до затоплення значних ділянок вздовж древньої долини р. Либідь (проспект та площа Перемоги, привокзальні вулиці і підземні переходи тощо). Така ситуація часто повторюється. Так за останні роки затоплення в указаних місцях спостерігалось в 2008, 2010, 2012, 2013, 2014 роках. За даними аналізу багаторічного часового ряду (1985–2014 рр.) теплової

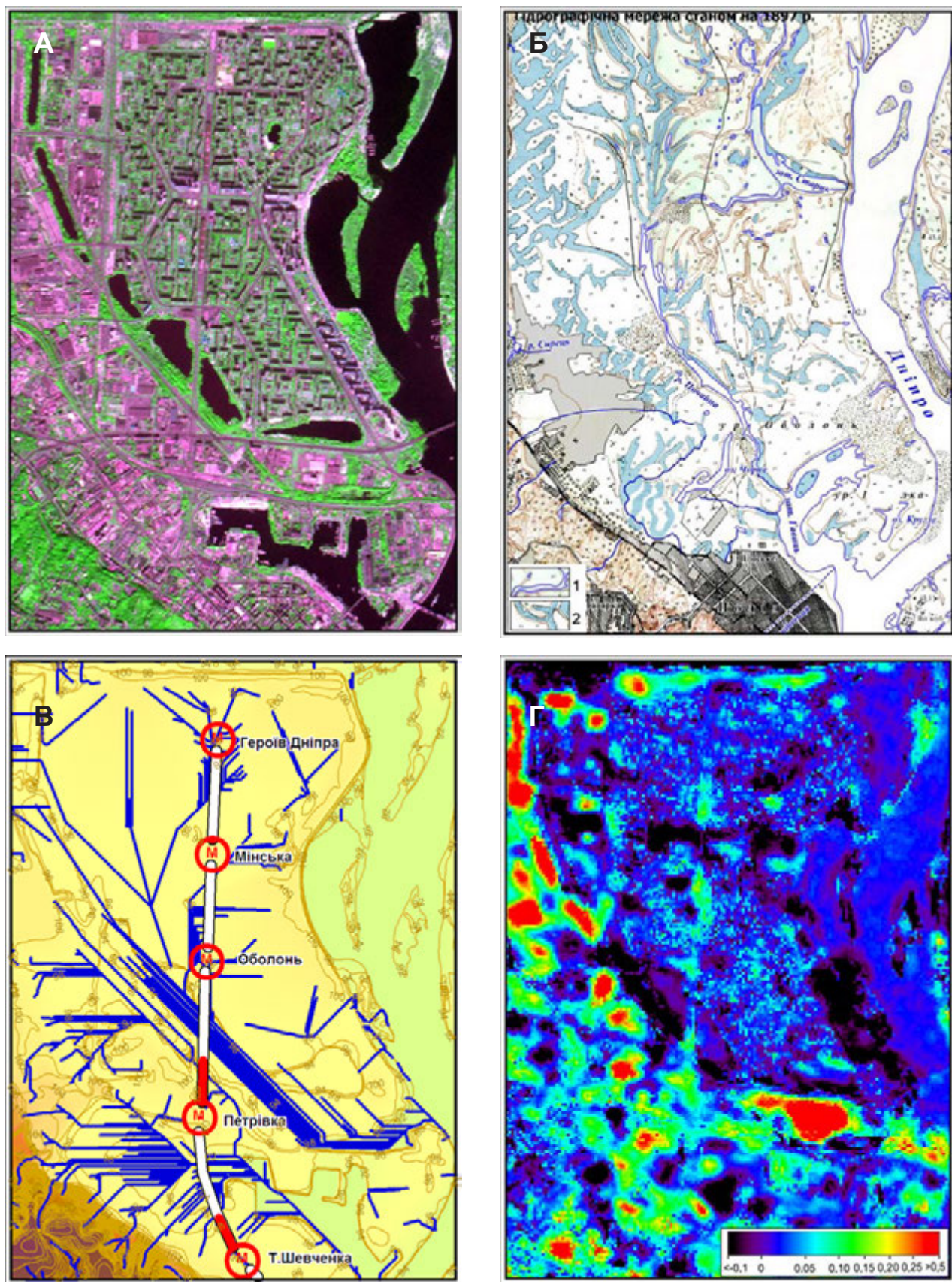


Рис. 2. Приклад послідовного аналізу космічної та гідрогеологічної інформації при прогнозуванні зон підтоплення внаслідок бурхливого паводку. А — космічне зображення ділянки досліджень, КЗ «Січ-2» 05.10.12; Б — історична гідромережа станом на 1897 р. В — цифрова модель рельєфу з векторами стоку поверхневих та ґрунтових вод; Г — карта приросту температури поверхні міського середовища за даними просторово-часового аналізу теплової космічної зйомки (1985–2014 рр.). Умовні позначення: Б — елементи гідромережі: 1 — річки, струмки та контури озер, 2 — болота

космічної зйомки у літній період (рис. 1 В) вказаних місцях фіксуються мінімальні градієнти приросту середніх температур міської поверхні. Можливо припустити, що охолоджуючий ефект у цих місцях пов'язаний з конденсацією вологи під непроникними поверхнями, високим рівнем ґрунтових вод та розвитком процесів підтоплення. Підґрунтям такого припущення може слугувати карта глибини залягання ґрунтових вод (рис. 1 Д), де на вказаних місцях рівень ґрунтових вод нижче 2 м, які за будівельними нормами ДБН В.1.1-24-2009 [2] розглядаються як потенційно підтоплені.

На основі поєднання наведених даних можна спрогнозувати розвиток ділянок затоплення та потенційного підтоплення, що наведено на рис. 1 Е. У цих місцях особливу увагу необхідно приділяти контролю за цілісністю інженерних споруд та вести детальний моніторинг рівня ґрунтових вод і вологості ґрунтів.

Друга ділянка охоплює Оболонський житловий масив (рис. 2 А). В даний час головними екологічними проблемами Оболонського ділянки є підтоплення ґрунтовими водами і просідання ґрунтів. На представленій території підйом рівня ґрунтових вод відбувається в результаті ліквідації природного стоку в Дніпро водних мас р. Почайна, яка була природною дренажною для ґрунтових вод району Оболоні (рис. 2 Б). Після потужного гідронамиву піску під будівництво житлового масиву природні дрени були ліквідовані. В даний час штучні озера, розташовані в межах колишнього русла р. Почайна, в результаті створення підпору стали зонами живлення ґрунтових вод, яке призводить до їх підйому в районі похованих русел і стариць (рис. 2 А, Б). Аналіз цифрової моделі рельєфу з комп'ютерним виділеннями ліній поверхневого стоку показує, що поверхневий сток на сучасному часовому зрізі практично не змінився по відношенню до часів, які передували забудові території Оболонського масиву (рис. 2 Б, В). Лінії стоку перетинають масив з північного заходу і заходу на схід до русла р. Дніпро, а найбільша їх концентрація відмічається вздовж похованої долини р. Почайна. На матеріалах обробки космічної теплової зйомки за багаторічний період (1985–2014 рр.) (рис. 2 Г) в цих місцях фіксуються мінімальні градієнти приросту середніх температур земної поверхні. Крім того, виявлена значна кількість інших місць теплових мінімумів, що потребує пояснення.

Раніше виконаний детальний аналіз аерокосмічних даних у видимому діапазоні [3] показав, що заміна природного ґрунтового покриву забудованими і заасфальтованими територіями, практично виключила з водного балансу випаровування з поверхні ґрунту. Ці обставини, в поєднанні з повною або частковою ліквідацією природних дренажів, призвело до подальшого підйому дзеркала ґрунтових вод, підтопленню фундаментів будівель, зниження несучої здатності літогенної основи і, як наслідок, до можливої дефор-

мації і руйнування будівельних конструкцій. Однією з можливих причин розвитку підтоплення, на наш погляд, є побудова на цій ділянці висотних будівель, з заглибленими фундаментами та підземними паркінгами, що визивають баражі на шляху природного дренажу вздовж елементів похованої історичної гідромережі. Також було виявлено, що не все історичне русло р. Почайни залишилося в межах сучасних озер. Частина русла, разом з повноводними старицями, знаходиться під намівними ґрунтами. Тут, по всій ймовірності, і знаходяться осередки підтоплення житлового масиву, що проявляються на матеріалах теплового космічного зондування.

Інший чинник, який призводить до підйому рівня ґрунтових вод — мулисті відкладення з пористістю до 90%, що знаходяться на дні, поховані під намівними ґрунтами, річок, стариць і озер. При їх ущільненні під тиском техногенних факторів (шар намитого ґрунту потужністю 5–8 м, будівлі, дороги) мулисті відкладення перетворюються в слабо проникні шари і сприяють утворенню лінз “верховодки”. Таким чином, спільно діють два негативних процеси: підтоплення окремих споруд та їх просідання в результаті локального ущільнення ґрунту. Місцезнаходження мулистих відкладень було простежено на різночасових зрізах моделей гідромережі [3] і, в загальних рисах, співпало з середніми та пониженими значеннями приросту поверхневих температур. Вздовж лінії метрополітену, що перетинає ділянку з півночі на південь (рис. 2 В), також фіксується низка малих значень теплових градієнтів. Можливою причиною може бути бражний ефект від тунелів метрополітену, що залягають тут на малій глибині і перекривають природні дренажі з заходу на схід до долини р. Дніпро. Спільний аналіз наведених даних разом з картою рівня залягання ґрунтових вод (рис. 3 А) дозволив виділити осередки потоплення і намітити найбільш потенційно небезпечні ділянки (рис. 3 Б), де, в першу чергу, необхідно зміцнення підземних комунікацій, підвальних приміщень та фундаментів житлових будинків.

Таким чином, використання матеріалів дистанційного зондування у тепловому діапазоні при вивченні затоплення і підтоплення урбанізованих територій дозволяє визначати проблемні, з геоекологічної точки зору, місця розвитку несприятливих геологічних процесів і розробляти рекомендації для прийняття управлінських рішень. Головним причинами затоплень є рельєф міста і порушення природної фільтрації ливневих вод внаслідок щільної міської забудови. Основний вклад у розвиток ділянок підтоплення вносять баражі на шляхах ґрунтових вод похованої гідромережі.

Зауважимо на останок, що дана робота носить дещо схематичний характер, а розробка методики використання теплової космічної зйомки при дослідженнях урбанізованих територій з щільною забудовою потребує подальших детальних досліджень.

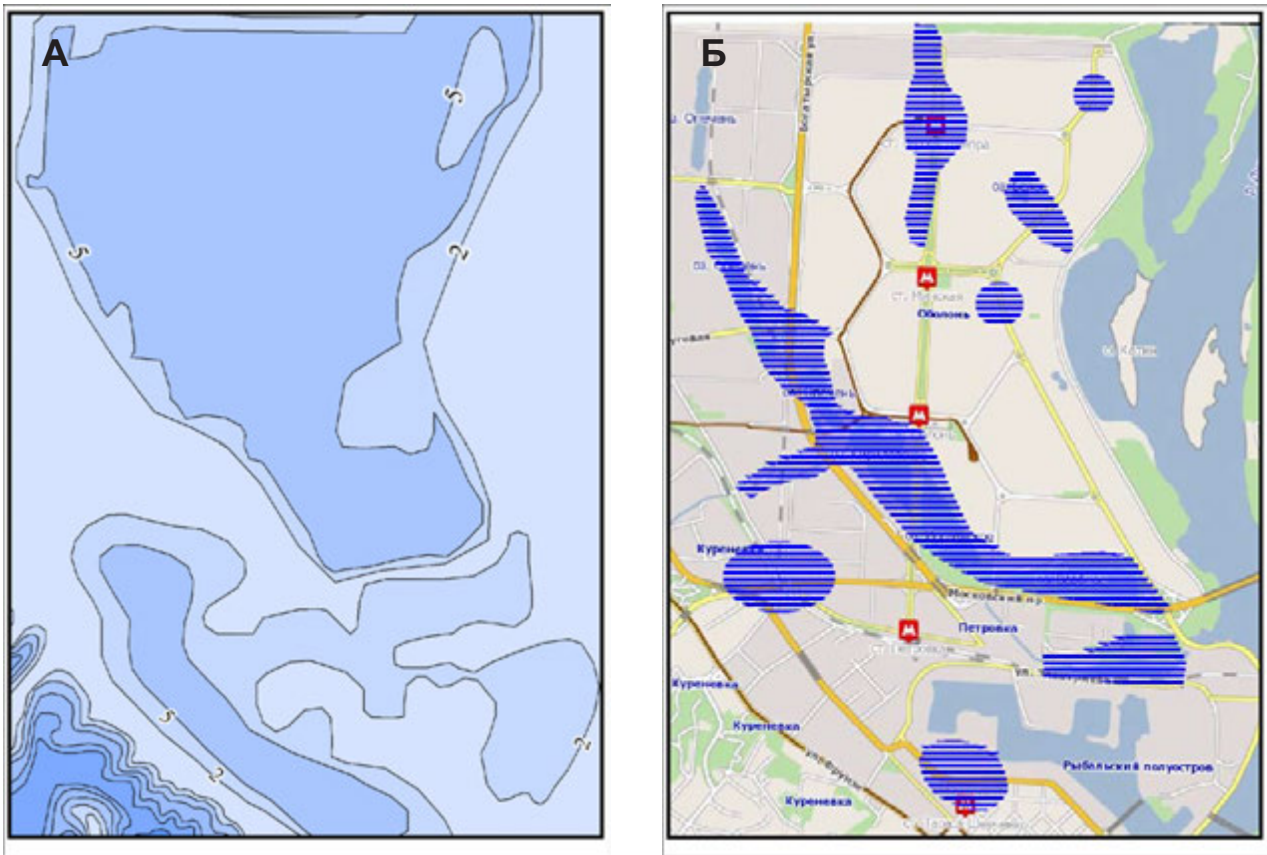


Рис.3. Прогноз підтоплення ґрунтів в Оболонському житловому масиві. А — фрагмент карти глибини залягання ґрунтових вод за усередненими даними 1967–2007 рр. (В. І. Лялько, А. В. Матюшко, О. Р. Спиця, 2007, ЦАКДЗ НАН України, Київ). Умовні позначення див. на рис. 1; Б — ділянки потенційного підтоплення за комплексом наведених даних

Література

1. Арістов М. В. Аерокосмічні методи моніторингу несприятливих та небезпечних геологічних процесів в урбогеосистемах (на прикладі міста Києва) / М. В. Арістов // Збірник матеріалів МНПК “Перший Всеукраїнський з’їзд екологів” [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/1vze/zb_m/0040_zb_m_1VZE.pdf (актуально, 2015).
2. ДБН В.1.1-25-2009 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. — К: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. — 51 с.
3. Терemenko O. M. Мониторинг гидросети урбанизованных территорий и прогноз локализации опасных природных процессов на основе ГИС/ДДЗ технологий / А. Н. Терemenko, А. Г. Мычак, В. Е. Филиппович // Вестник ИргТУ. — 2011. — №8. — С. 54–59.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ПОДТОПЛЕНИЕ И ЗАТОПЛЕНИЕ) НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ Г. КИЕВА

В. Е. Филиппович

На основе анализа пространственно-временных рядов данных космической съемки в тепловом диапазоне и цифровых моделей рельефа прогнозируется развитие участков подтопления и затопления в отдельных районах г. Киева. Главная причина затоплений — рельеф города и нарушения естественной фильтрации ливневых вод в результате городской застройки. Основной вклад в развитие участков подтопления вносят барражи на путях грунтовых вод погребенной гидросети.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, тепловая космическая съемка, цифровые модели рельефа, подтопление, затопление

USE OF SPACE INFORMATION FOR FORECASTING THE DEVELOPMENT OF DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES (UNDERFLOODING AND FLOODING) IN THE CASE OF INDIVIDUAL DISTRICTS KYIV

V. E. Filipovich

The analysis of space-time series of space images in the thermal range and digital elevation models is applied for the prediction of the development of the underflooded areas and flooding within the city of Kiev. The main reason for flooding - the landforms of the city and the changes in natural filtration of rainwater due to the urban development. The barrages on the groundwater flows along the buried river net is the main reason for the development of underflooded areas.

Keywords: satellite monitoring, thermal Remote Sensing, digital elevation model, underflooding, flooding

Розділ 5

ОЦІНКА РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

Задача оцінки ризиків та довгострокових загроз тісно феноменологічно пов'язана з питанням визначення довгострокових тенденцій змін навколишнього середовища та кліматичних показників, тобто факторів, що безпосередньо впливають на формування стану безпеки територій.

Оцінка довгострокових інтегральних показників ризиків вимагає, таким чином, визначення відповідних загроз, пов'язаних з довгостроковими змінами, що має ґрунтуватися на застосуванні інтегрованого модельного підходу, якій враховував би складні

взаємозв'язки між кліматичною, екологічною та геосистемами.

При оцінках довгострокових ризиків сьогодні використовують два підходи. По-перше, отримання наборів кількісних та якісних показників, що базуються на сукупності експертних оцінок. По-друге, пряме моделювання розподілів кількісних мір ризиків у рамках математичних моделей, як правило непараметричних. І той, і інший підходи можуть виявитися корисними при формуванні стратегій адаптації і прийнятті управлінських рішень.

5.1. Методи кількісної оцінки ризиків, пов'язаних із довгостроковими змінами клімату і довкілля

Методи оцінки ризиків мають базуватися на об'єктивній кількісній основі, що вимагає застосування ґрунтовної математичної методики для спільного аналізу всіх типів наявних даних.

Для отримання кількісних характеристик розподілів ризику в загальному випадку необхідно мати регуляризовані в часі і просторі розподіли метеорологічних параметрів та параметрів виникнення небезпек, зокрема надзвичайних ситуацій. На цій основі потрібно розробити метод математично коректної оцінки розподілів екстремумів метеорологічних і кліматичних параметрів, тобто оцінки ймовірності проявів екстремальних кліматичних явищ за результатами аналізу даних метеорологічних спостережень. Для отримання просторово розподілених оцінок на регіональному рівні, скорегованих щодо глобальних кліматичних моделей і прогнозів, необхідно розробити метод інтеграції даних локальних метеорологічних спостережень в глобальні кліматичні моделі, тобто підхід до регіоналізації моделей кліматичних змін за даними регуляризованих регіональних спостережень. У такий спосіб отримуємо набори вхідних даних для визначення параметрів ризику. Виходячи з того, що ми маємо справу із суттєво невизначеною системою, найбільш ефективними слід вважати непараметричні

методи оцінки. Таким чином, варто використовувати метод оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин. За результатами застосування цих методів на множинах попередньо регуляризованих вхідних даних, узгоджених із глобальними моделями, можна робити коректні кількісні припущення щодо показників ризику за окремими параметрами.

В даному розділі розглядаються загальні методи отримання кількісних оцінок різномасштабних ризиків, пов'язаних із довгостроковими змінами клімату і довкілля, наводяться приклади застосування розробленої методики, описуються загальні засади визначення небезпек.

5.1.1. Методи регуляризації даних. Статистичний аналіз розподілів параметрів небезпек

Аналіз даних про виникнення та розподіл наслідків надзвичайних ситуацій, а також про методи оцінки їхнього впливу на вразливість соціо-екологічної системи, проведений у даному розділі, дозволяє зробити кілька важливих висновків.

Аналізувати (в тому числі картографувати) про-

сторів та часові розподіли надзвичайних ситуацій різних типів дуже важко, а зіставляти їх не зовсім коректно. По-перше, тому, що існують довгочасові тренди змін розподілів окремих типів надзвичайних ситуацій, що не збігаються між собою, а, по-друге, тому, що різні типи надзвичайних ситуацій мають різні характерні часові і просторові масштаби.

Виходячи із необхідності вирішення кінцевої задачі, потрібно оцінювати загальну небезпеку від усіх типів природних (а також окремих типів техногенних) надзвичайних ситуацій, що розглядаються в рамках дослідження. Проаналізовані дані свідчать, що різні типи надзвичайних ситуацій, відповідно до їхньої природи, рушійних сил та процесів, мають різні просторові і часові масштаби, тобто характеризуються різними розподілами фізичних і економічних показників. Це зумовлює необхідність введення міри статистичних розподілів спостережень, тобто одиниць виміру частоти досліджуваних явищ, інваріантних відносно властивостей даних. Крім того, дані спостережень (статистичні, архівні записи) зазвичай характеризуються значними похибками та штучними модифікаціями, які також мають бути виправленими. Відтак розподіли мають бути регуляризовані в просторі і часі з метою редукування невизначеностей, що зазвичай мають нелінійний характер, та виправлення похибок, властивих даним про надзвичайні ситуації.

Для вирішення цих задач — отримання статистично достовірних розподілів частоти надзвичайних ситуацій на одиницю площі протягом певного проміжку часу було запропоновано алгоритм нелінійної регуляризації даних. Зазначимо, що отримувані регуляризовані розподіли також можуть бути інтерпретовані як середня за інтервал спостережень ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій по певній площі досліджуваної території.

Статистично методика може бути представлена так [7]. Якщо ми маємо множину даних різномірних спостережень x_i розмірності m (тобто $x_i \in R^m$), в якій представлені різні дані, в тому числі дані спостережень що мають невизначену або недостатню достовірність, архівні дані, історичні записи тощо, а також дані достатньої достовірності x_j ($x_j \in R^m$), де $j = 1, \dots, N$, зокрема, набори дешифрувальних ознак надзвичайних ситуацій, отриманих за допомогою методів ДЗЗ (як це описано в цьому розділі) при оцінюванні і прогнозуванні стану гідрологічної та гідрогеологічної небезпеки територій, то для проведення коректного статистичного аналізу нашою задачею є отримати множину даних заданої достовірності x_i , що рівномірно відображає розподіл досліджуваних характеристик по території досліджень за період спостережень (з урахуванням різної достовірності архівних записів і даних спостережень x_j).

Регуляризація може бути проведена різними шляхами. Якщо припустити, що статистичні дані про

розподіл надзвичайних ситуацій в досліджуваному регіоні мають приблизно однакову достовірність, то в рамках задачі, що вирішується, можна запропонувати відносно простий шлях, який базується на визначенні розподілів досліджуваних характеристик по всій території $x_i^{(x,y)}$ щодо розподілів на вимірних ділянках x_i^m за аналогією з [34]:

$$x_i^{(x,y)} = \sum_{m=1}^n w_{x,y}(\tilde{x}_i^m) x_i^m \quad (5.1)$$

де $w_{x,y}(\tilde{x}_i^m)$ — ваговий коефіцієнт, який визначається через пошук мінімуму [3]:

$$\min \left\{ \sum_{m=1}^n \sum_{x_i^m \in R^m} w_{x,y}(\tilde{x}_i^m) \left(1 - \frac{x_i^m}{\tilde{x}_i^m} \right)^2 \right\} \quad (5.2)$$

В цьому рівнянні m — кількість записів, або точок, відносно спостережень на яких наявні записи; n — кількість серій спостережень, тобто джерел даних про спостереження; x_i^m — розподіл результатів спостережень; R^m — множина (загальна сукупність) даних спостережень; $\tilde{x}_i^m$ — середній розподіл значень вимірюваних характеристик. Таким чином, ми отримуємо регулярний просторовий розподіл вимірюваних характеристик по території дослідження, за яким можна проводити подальші розрахунки, зокрема часову регуляризацію.

Подальша регуляризація має враховувати як нелінійність часового розподілу даних спостережень (зумовленого недосконалістю наявної статистики), такі особливості просторово-часової гетерогенності даних, що зумовлена складним системним характером досліджуваного явища — надзвичайних ситуацій. Для врахування цього можна використати модифікований метод згладжувальної нелінійної кернел-функції відповідно до [51, 58, 72].

Метод, що ми пропонуємо, базується на кернелівському методі аналізу головних компонент — Kernel Principal Component Analysis (KPCA) [57, 64, 65]. В рамках цього підходу регуляризація нелінійних розподілів відбувається відповідно до пра- вила:

$$x_i = \sum_{i=1}^N \alpha_i \tilde{k}_i(x_i, x_i) \quad (5.3)$$

В цьому рівнянні коефіцієнти α обираються відповідно до алгоритму через оцінки оптимального балансу функції взаємної валідації та матриці ко- варіації, наприклад [51]:

$$C^F v = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Phi(x_j) \Phi(x_j)^T \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i \Phi(x_i) \quad (5.4)$$

де нелінійна функція розподілу вхідних даних Φ за- довольняє умовам: $\sum_{k=1}^N \Phi(x_k) = 0$ [65], а $\tilde{k}_i$ — усереднені значення кернел-матриці $\mathbf{K} \in R^N$ (де $[\mathbf{K}]_{ij} = [k(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$). Ця матриця складається із кернел-векторів, що визначаються як $\mathbf{k}_i \in R^N$; при цьо-

му $[\mathbf{k}_i]_j = [k_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$. Кернель-матриця розраховується відповідно до модифікованого правила [25]:

$$\mathbf{k}_i(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \langle \rho_{j,i}^{x_j} (1 - \rho_{j,i}^{x_j})^{x_j} \rangle. \quad (5.5)$$

Тут ρ — емпіричні параметри, які обираються відповідно до моделі класифікації досліджуваних явищ [72].

Використовуючи наведений алгоритм, ми можемо отримати регуляризований просторово-часовий розподіл характеристик досліджуваних параметрів за весь період спостережень із згладжувальними показниками достовірності [58].

Запропонований алгоритм регуляризації було використано для отримання нормалізованих розподілів частоти виникнення надзвичайних ситуацій, соціально-економічних та кліматичних показників по території досліджень за період спостережень.

Це дозволяє отримати регуляризовані в просторі і часі розподіли досліджуваних характеристик, аналізувати взаємозв'язки між розподілами характеристик надзвичайних ситуацій на різних просторових і часових масштабах і, таким чином, визначати стан безпеки і розраховувати показники ризиків за відповідними алгоритмами.

Отримані за даними статистики [41, 60], опрацьованої за наведеними алгоритмами, розподіли ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій різного типу по всій території України на 1 000 км² наведено на рис. 5.1–5.5.

У подальшому отримані розподіли можуть бути

проаналізовані як багатовимірні мультиваріативні статистичні розподіли та відповідні кореляційні залежності.

З точки зору оцінки показників ризику важливо визначити втрати від надзвичайних ситуацій. Аналіз часових серій регуляризованих просторово розподілених даних дозволив визначити кілька важливих розподілів. Насамперед цікавим є розподіл прямих втрат від надзвичайних ситуацій природного походження в Україні, світі і Європі (EU-27¹), розрахований в доларах США на 1 км² території.

Наведений розподіл демонструє зростання прямих втрат, що пов'язане із збільшенням кількості та інтенсивності надзвичайних ситуацій, а також із зростанням вартості постраждалої інфраструктури. З точки зору оцінки ризиків і врахування економічних показників є сенс розглянути відносні індекси.

Цей індекс розраховується за алгоритмом:

$$(IoD)_i = \langle L_{dn} \rangle_i / (pCGDP)_i, \text{ де } i — \text{розрахунковий час}$$

(в нашому випадку — рік); $\langle L_{dn} \rangle$ — прямі оцінювані втрати від надзвичайної ситуації d визначеного типу n ; $pCGDP$ — ВВП на душу населення. Наведений розподіл показує, що відносні збитки від надзвичайних ситуацій природного походження (розраховані на 1 000 км²) з 1990 р. у світі мають слабку тенденцію до збільшення, що, найімовірніше, пов'язано із впливом кліматичних змін, хоча загальна тенденція як у світі, так і в Європі демонструє зменшення індексу збитків, що свідчить про економічне зростання (підвищення економічної сталості) та успішне управління ризиками надзвичайних ситуацій. При

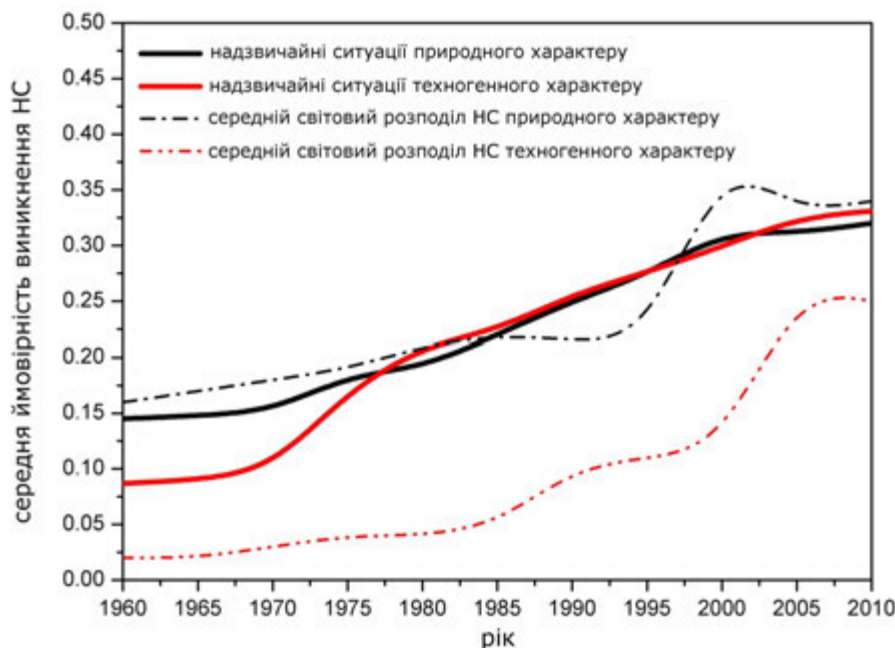


Рис. 5.1. Розподіл частоти надзвичайних ситуацій на одиницю площі протягом фіксованого проміжку часу в середньому для всієї території України за період 1960–2010 рр. у порівнянні із аналогічним показником в середньому у світі

¹ EU-27: Австрія, Бельгія, Болгарія, Великобританія, Греція, Данія, Естонія, Ірландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Німеччина, Польща, Португалія, Румунія, Словаччина, Словенія, Угорщина, Фінляндія, Франція, Чехія, Швеція

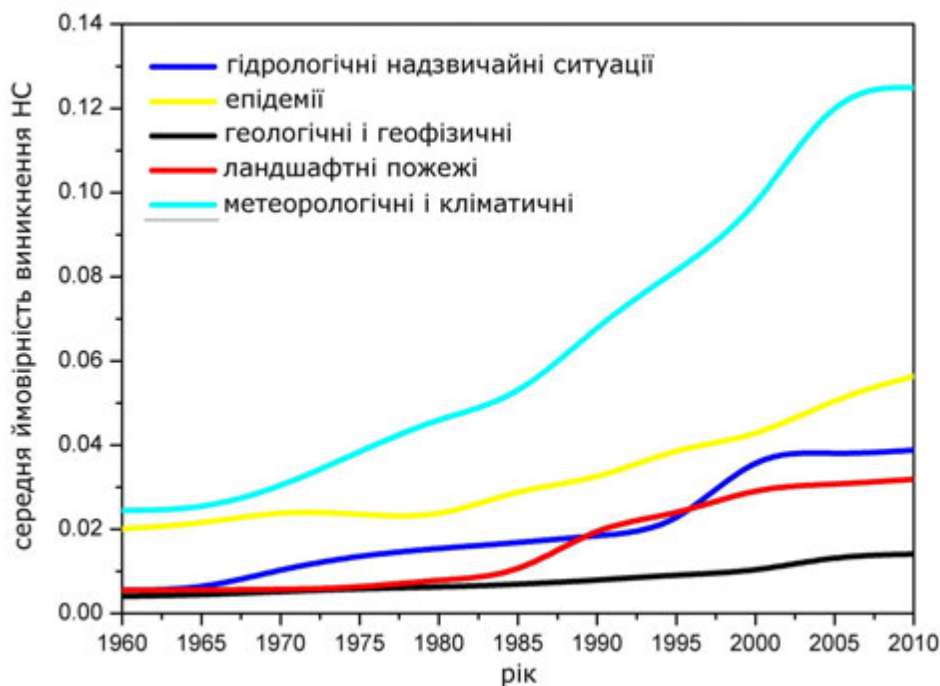


Рис. 5.2. Розподіл частоти різних типів надзвичайних ситуацій природного походження на одиницю площі протягом фіксованого проміжку часу в середньому для всієї території України за період 1960–2010 рр.

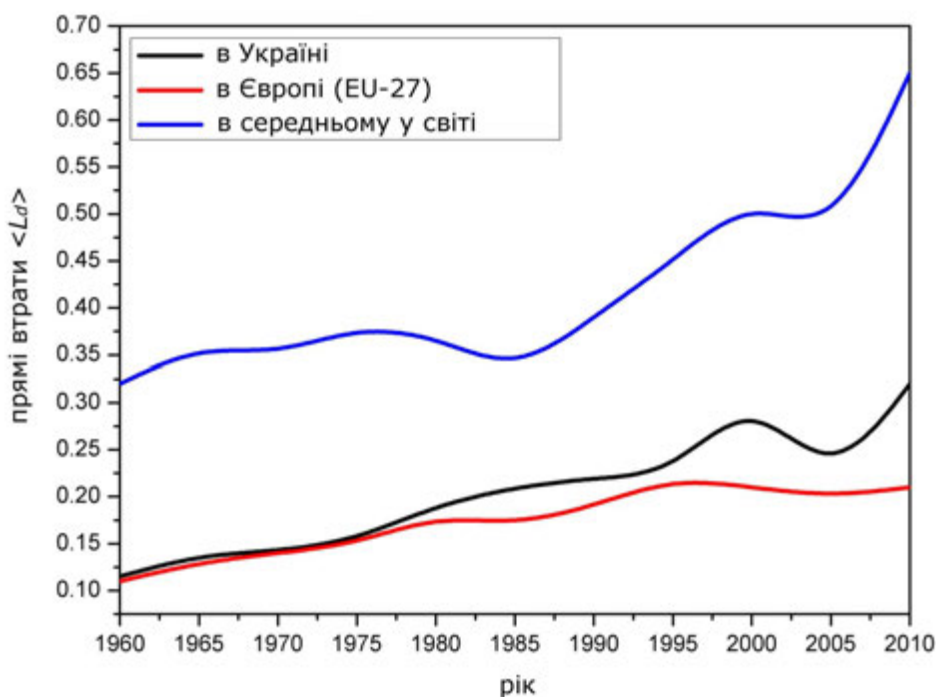


Рис. 5.3. Прямі втрати від надзвичайних ситуацій природного походження в Україні, світі та Європі (EU-27), розраховані в доларах США

цьому на території України індекс збитків з другої половини 80-х років і особливо з середини 90-х років зростає. Це пов'язано із погіршенням економічної ситуації та відсутністю системних стратегій управління ризиками.

Окремо можна розглянути безрозмірний індекс вразливості, що показує зміни збитків, віднесених на ВВП, та зміни кількості населення. Цей індекс можна розрахувати за алгоритмом:

$(IoV)_i = \langle L_{dn} \rangle_i / (pCGDP)_i (P_s)_i$, де i — розрахунковий час (в нашому випадку — рік); $\langle L_{dn} \rangle$ — прямі оцінювані втрати від надзвичайної ситуації d визначеного типу n ; $pCGDP$ — ВВП на душу населення; P_s — щільність населення (на площі S).

Наведений розподіл ще яскравіше відображає той факт, що економічне зростання та впровадження вдалих стратегій управління ризиками дозволяє ефективно зменшувати вразливість суспільства до

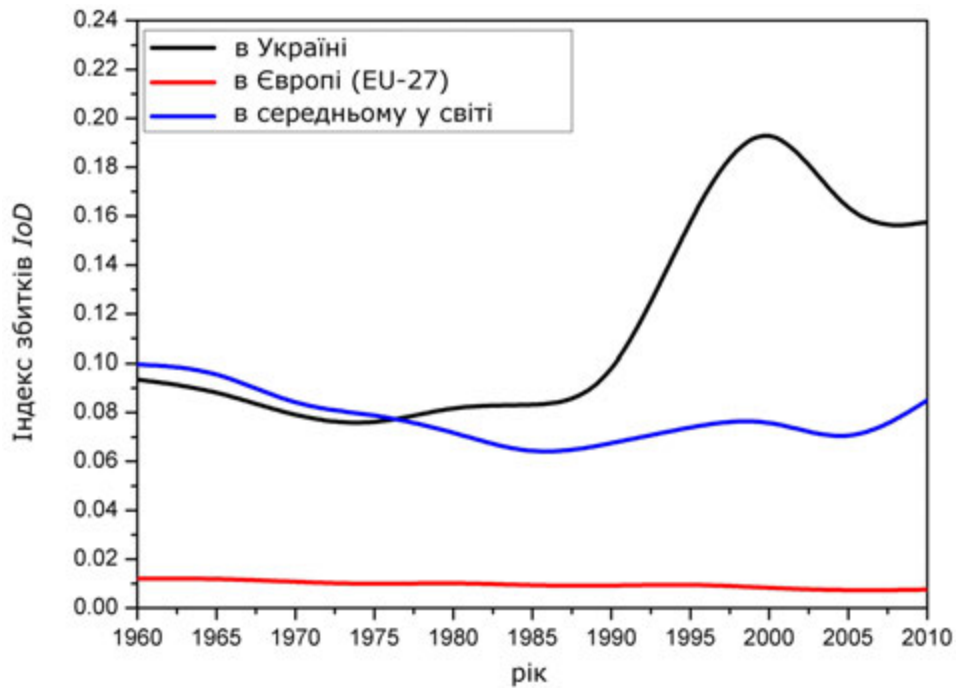


Рис. 5.4. Індекс збитків: оцінювані відносні втрати від надзвичайних ситуацій природного характеру, віднесені до ВВП на душу населення [69]

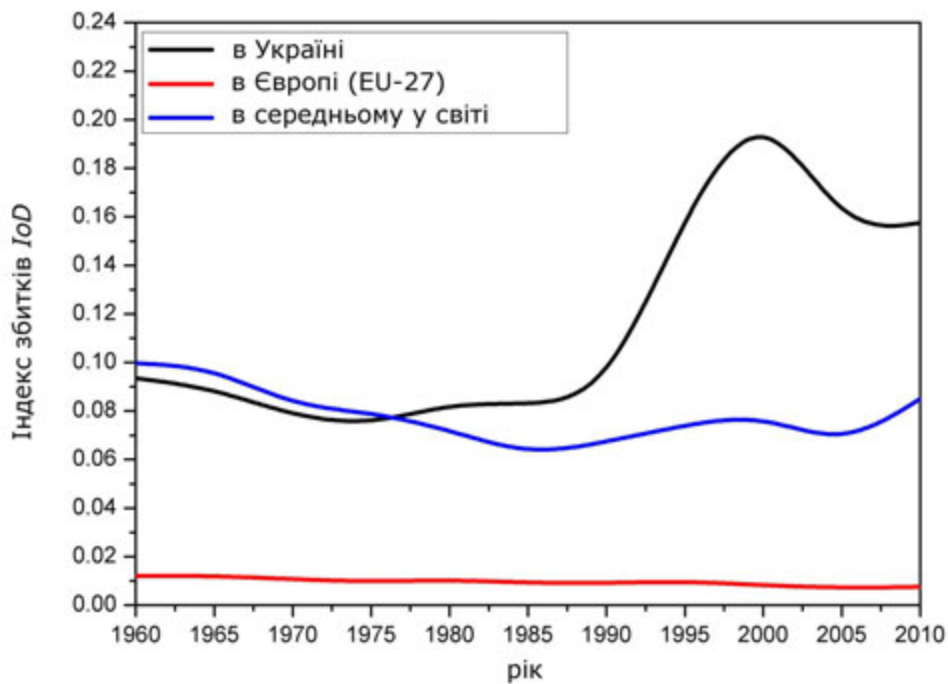


Рис. 5.5. Індекс вразливості: оцінювані відносні втрати від надзвичайних ситуацій природного характеру віднесені до ВВП на душу населення в перерахунку до щільності населення

надзвичайних ситуацій, навіть при сталій тенденції зростання їхньої частоти, інтенсивності і прямих збитків. Розподіл індексу вразливості для нашої держави свідчить про необхідність впровадження системних стратегій управління ризиками.

Таким чином, на основі аналізу даних спостережень (статистики надзвичайних ситуацій різних типів) було запропоновано метод статистичного аналізу даних спостережень, в тому числі

архівних записів та спостережень з різних джерел за надзвичайними ситуаціями, що дозволяє отримати розподіли в одиницях, інваріантних відносно типів даних. Тобто незалежно від параметрів та характеру надзвичайної ситуації можна одержувати регуляризовані розподіли частоти виникнення та інтенсивності надзвичайних ситуацій різних типів, що характеризуються різними часовими і просторовими масштабами. Таким чином, ми от-

римуємо можливість визначати параметри ризику і безпеки.

За запропонованим підходом було проаналізовано дані про розподіли надзвичайних ситуацій природного характеру в період 1960–2010 рр.

Кількість надзвичайних ситуацій природного характеру різних типів як в середньому у світі, так в окремих регіонах протягом останніх років зростає. Середня ймовірність виникнення НС природного характеру будь-якого типу в перерахунку на одиницю площі на рік зросла за останні 60 років в 2 рази, а за останні 20 років — приблизно на 60 %. Вдва рази збільшилися середні світові збитки, при цьому на 70% за останні 20 років. В Україні за останні 20 років збитки зросли приблизно на 68%, а всього за період спостережень в 2.1 рази. Тобто інтенсивність впливів надзвичайних ситуацій також збільшується і ця загальносвітова тенденція відображається також і на території України. Зафіксовані тенденції зміни частоти та інтенсивності надзвичайних ситуацій пов'язані із впливом кліматичних і екологічних змін як на глобальному, так і на регіональному рівнях [3]. Визначення регіональних особливостей кліматичних змін через дезагрегацію глобальних кліматичних моделей є задачею подальших досліджень.

При цьому важливою є реакція на зростання небезпечних впливів, яка може бути оцінена за індексом збитків та індексом вразливості. Індекс збитків відображає відносні втрати з урахуванням економічних показників територій. Індекс вразливості враховує також розподіл населення, тобто зміни демографічних показників. Розподіли цих індексів показують, що економічне зростання та впровадження вдаль стратегій управління ризиками дозволяє ефективно зменшувати вразливість суспільства по відношенню до надзвичайних ситуацій, навіть при сталій тенденції зростання їхньої частоти, інтенсивності і збільшення прямих збитків. Зокрема, розподіл індексу вразливості для нашої держави свідчить про необхідність впровадження системних стратегій управління ризиками.

5.1.2. Методи регуляризації даних. Застосування методів нелінійної просторово-часової регуляризації для аналізу метеорологічних спостережень

На основі аналізу даних спостережень (статистики надзвичайних ситуацій різних типів) було запропоновано метод статистичного аналізу даних спостережень, в тому числі архівних записів та спостережень з різних джерел за надзвичайними ситуаціями, що дозволяє отримати розподіли в одиницях, інваріантних щодо типів даних. Тобто незалежно від параметрів та характеру надзвичайної ситуації можна одержувати регуляризовані розподіли частоти виникнення й інтенсивності надзвичайних ситуацій різних типів, що характеризують-

ся різними часовими і просторовими масштабами. Таким чином, ми отримуємо можливість визначати параметри ризику і безпеки.

Крім того, запропонований алгоритм може бути використаний для одержання регуляризованих у просторі і часі статистично достовірних розподілів метеорологічних показників за даними спостережень на метеостанціях по території досліджень. Задача регуляризації множин метеорологічних спостережень є важливою, бо зазвичай при моделюванні небезпечних явищ необхідно мати значення таких параметрів, як температура, кількість опадів тощо в будь-якій точці ділянки, а наявна інформація забезпечує лише дані про спостереження у визначений час в точках з фіксованими координатами (на метеостанціях). Задача перерахунку точкових вимірів у просторово розподілені неперервні у часі може бути вирішена різними шляхами в залежності від постановки, наявності даних спостережень, обчислювальних потужностей, мети розрахунків тощо. На даний час найбільш вживаним для моделей клімату, в тому числі на регіональному рівні, є метод ре-аналізу даних метеорологічних спостережень, що використовує фільтрацію Кальмана Національного центру досліджень атмосфери США NCEP/NCAR у версіях NCEP/NCAR-RM [45] та NCEP/DOE-R2M [46]. Алгоритми забезпечують можливість отримання регуляризованих розподілів основних кліматичних показників за всією сукупністю даних спостережень з 1979 р. по всій території планети.

Для порівняння ефективності використання алгоритмів, тобто для визначення відносної достовірності кернелівського методу аналізу головних компонент KPCA та алгоритмів NCEP/NCAR-RM (а також NCEP/DOE-R2M) в окремих задачах оцінки регіональної безпеки, було розраховано розподіли метеорологічних показників (температури повітря і кількості опадів) на ділянці розміром 250×250 км з центром в точці з координатами 50.5N, 26E (Українське Полісся, басейн р. Прип'ять) для періоду 1979–2010 рр. Для перевірки точності розподілів на визначеній ділянці було використано дані спостережень метеостанцій (табл. 5.1).

В результаті було розраховано кореляції результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR та KPCA з вимірами температури повітря та кількості опадів на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки (за даними аналізу північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1979–2010 рр.), тобто коефіцієнти кореляції отриманих розподілів та виміряних на метеостанціях значень метеорологічних показників. Результати розрахунків, що мають сенс показників достовірності модельних розрахунків ре-аналізу, наведено на рис. 5.6–5.7.

Також було проаналізовано аналогічні показники

Таблиця 5.1.

Дані спостережень метеостанцій використані для перевірки точності розподілів на визначеній ділянці

№ з/п	Назва станції	Положення станції			Період спостережень, роки
		Широта	Довгота	Висота	
1	Броди	+50100	+025150	+02280	1959–2010
2	Дубно	+50417	+025750	+02160	1989–1994
3	Каменка-Буська	+50100	+024350	+02280	1959–2001
4	Ковель	+51217	+024683	+01740	1959–2010
5	Кременець	+50100	+025717	+03020	1963–2010
6	Луцьк	+50700	+025500	+02320	1931–2010
7	Львів	+49817	+023950	+03230	1928–2010
8	Маневичі	+51283	+025533	+01830	1979–2001
9	Новоград-Волинський	+50600	+027633	+02180	1959–2010
10	Олевськ	+51217	+027683	+01820	1955–2009
11	Рівне	+50583	+026133	+02310	1959–2010
12	Сарни	+51283	+026617	+01560	1948–2010
13	Шепетівка	+50167	+027033	+01820	1936–2010
14	Тернопіль	+49533	+025667	+03290	1934–2010
15	Володимир-Волинський	+50833	+024317	+01940	1959–2010

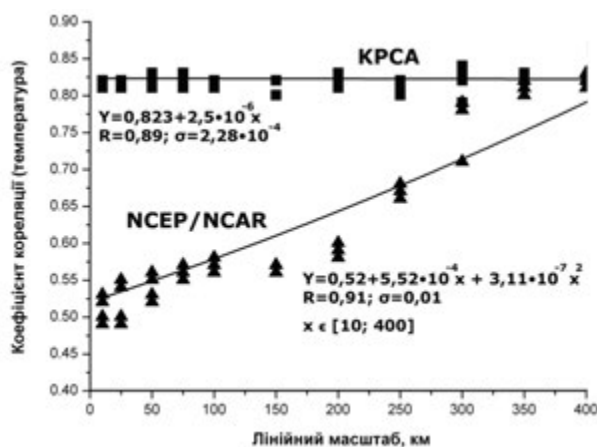


Рис. 5.6. Кореляція результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR та KPCA з вимірами температури повітря на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки (за даними аналізу північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1979–2010 рр.)

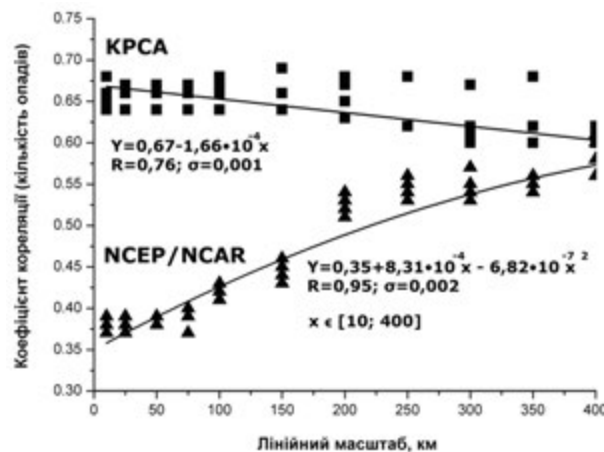


Рис. 5.7. Кореляція результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR та KPCA з вимірами кількості опадів на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки (за даними аналізу північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся 1979–2010 рр.)

для регіону північного Причорномор'я (ділянка розміром 250×250 км з центром в точці з координатами 46.5N, 31.5E). Для перевірки точності розподілів на визначеній території було використано дані спостережень метеостанцій, описаних в табл. 5.2.

Було розраховано кореляції результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR, NCEP/DOE та KPCA з вимірами температури повітря та кількості опадів на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки (територія Причорноморської низовини 1979–2010 рр.). Результати розрахунків, що мають сенс показників достовірності модельних розрахунків ре-аналізу, наведено на рис. 5.8–5.10.

Таким чином, ми отримуємо розподіли кліматичних показників з вищими показниками достовірності, порівняно із традиційними підходами, в за-

дачах регіональних оцінок з характерними масштабами до 200–250 км.

За наведеним алгоритмом також було проаналізовано розподіли метеорологічних показників по окремих територіях з метою визначити регіональні тенденції різночасових змін кліматичних параметрів для їх подальшого порівняння з параметрами формування надзвичайних ситуацій.

Було отримано загальні розподіли показників температури повітря та кількості опадів з характерними просторовими масштабами 50–100 км (що визначалися щільністю розподілу метеорологічних станцій по території дослідження). Проаналізовано розподіли як середні за роки, так і по окремих сезонах. Загальні тенденції, в цілому, відповідають зареєстрованим тенденціям для Північної півкулі, але певні регіональні та локальні відмінності було зареєстровано. Окремі застереження щодо розподілів

Таблиця 5.2.

Дані спостережень метеостанцій, які використані для перевірки точності розподілів на визначеній ділянці

№ з/п	Назва станції	Положення станції			Період спостережень, роки
		Широта	Довгота	Висота	
1	Миколаїв	+47050	+31917	+0056	1955–2010
2	Одеса	+46433	+30767	+0042	1932–2010
3	Очаків	+46633	+31550	+0041	1960–2001
4	Ізмаїл	+45367	+28850	+0030	1959–2010
5	Херсон	+46633	+32567	+0054	1932–2010
6	Асканія-Нова	+46450	+33883	+0030	1911–2010
7	Євпаторія	+45183	+33367	+0006	1959–2010
8	Ялта	+44483	+34167	+0072	1948–2010
9	Севастополь/Бельбек	+44683	+33567	+0085	1932–2010
10	Ай-Петрі	+44467	+34067	+1180	1932–2001

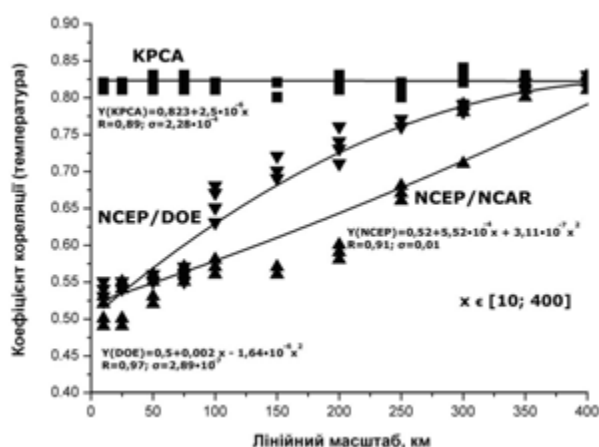


Рис. 5.8. Кореляція результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR, NCEP/DOE та КРСА з вимірами температури повітря на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки (територія Причорноморської низовини, 1979–2010 рр.)

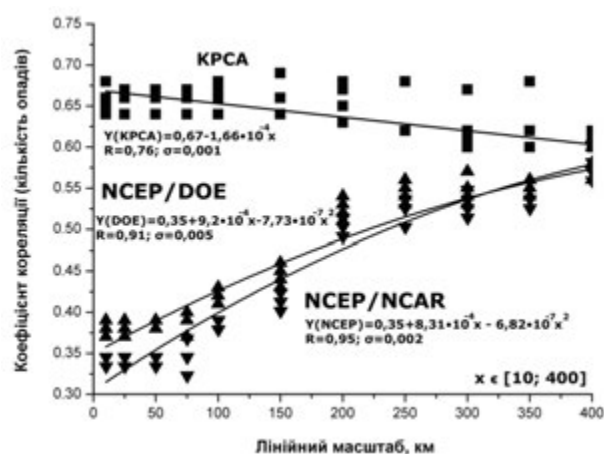


Рис. 5.9. Кореляція результатів ре-аналізу за алгоритмами NCEP/NCAR, NCEP/DOE та КРСА з вимірами кількості опадів на метеорологічних станціях по території досліджень в залежності від характерного лінійного масштабу досліджуваної ділянки (територія Причорноморської низовини, 1979–2010 рр.)

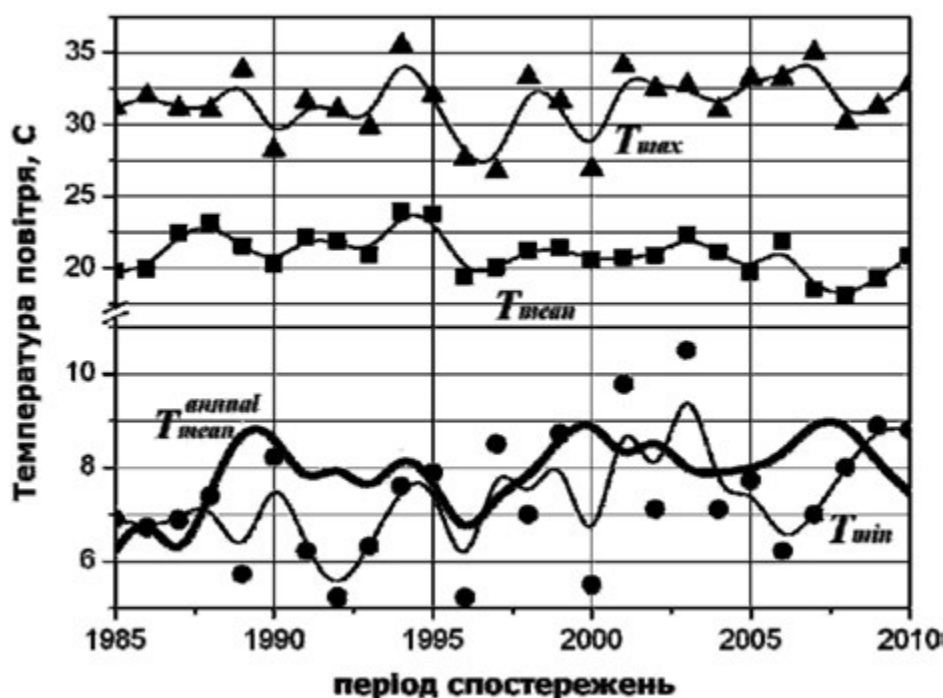


Рис. 5.10. Середньомісячні (червень–липень) Tmean, середньорічні, максимальні Tmax та мінімальні Tmin зареєстровані у липні показники температури повітря по регіону досліджень на період 1985–2010 рр.

екстремальних значень, на яких власне і зосереджене дане дослідження, будуть зроблені далі.

В якості ілюстрації регіональних особливостей розподілів кліматичних змін можна навести приклад визначених змін липневої температури в басейні Західного Бугу.

Як свідчать результати аналізу метеорологічних спостережень [5], середня температура повітря T_{mean} червня–липня в регіоні за період 1985–2010 рр. впала на 1.55°C — з 21.75°C до 20.2°C , а середньорічна температура повітря у регіоні зросла на 1.25°C — з 7.25°C до 8.5°C . Однак при цьому мінімальна зареєстрована температура повітря протягом червня–липня T_{min} збільшилася на 1.75°C з 6.5°C до 8.25°C , а максимальна T_{max} підвищилася на 1.42°C — з 30.78°C до 32.2°C . Такі зміни максимальних і мінімальних показників щодо середніх свідчать, між іншим, про збільшення ризиків

виникнення надзвичайних ситуацій природного, передусім гідрологічного походження.

Цей результат може здатися нелогічним і суперечливим з точки зору загальної тенденції підвищення температури. Однак інші зареєстровані регіональні тенденції свідчать про його достовірність. Зокрема, в той же період можна спостерігати зростання кількості опадів (рис. 5.11).

Середня кількість опадів в липні в регіоні за період 1985–2010 рр. зросла на 22 мм (тобто більш ніж на 25% від середніх за період показників) — з 51 до 73 мм [5].

В той самий час ми спостерігаємо сталу тенденцію до збільшення атмосферних концентрацій ПГ, насамперед двоокису вуглецю, по території досліджень (рис. 5.12).

Представлений результат спостережень показує,

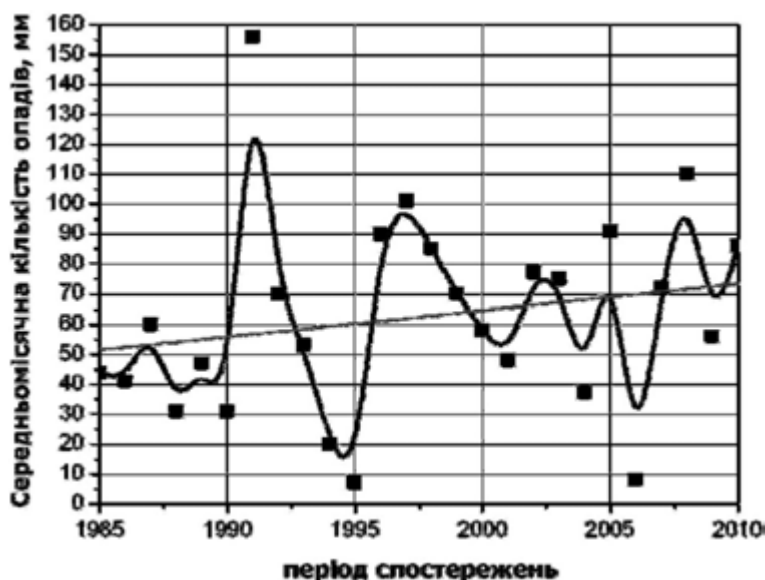


Рис. 5.11. Середньомісячна (червень–липень) кількість опадів по регіону досліджень на період 1985–2010 рр.

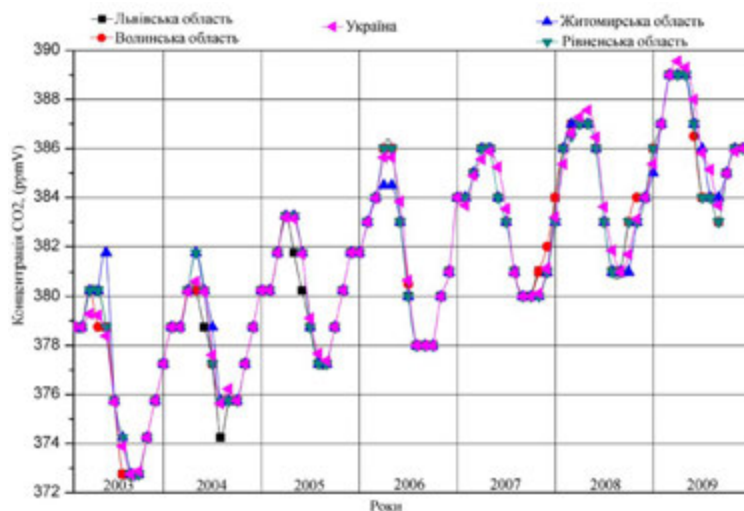


Рис. 5.12. Динаміка змін концентрації двоокису вуглецю над територією України за даними супутникового спостереження (з калібруванням за даними наземних спостережень)

що за останні 10 років середня концентрація атмосферного CO_2 зросла на 75–85 % від величини сезонної динаміки. Тобто сезонні мінімуми у 2010 р. приблизно відповідають максимальним значенням атмосферних концентрацій у 2000 р. (рис. 5.12).

Відповідно до загальних біофізичних моделей, за умов підвищення середніх температур, достатнього водного забезпечення та достатньої кількості дво-окису вуглецю для здійснення фотосинтезу, продуктивність рослинного покриву має зростати. Однак дані спостережень свідчать про відсутність чітко виявленої тенденції зростання показників регіональної продуктивності рослинного покриву (рис. 5.13, 5.14) [11].

Результат яскраво свідчить, що достовірних змін продуктивності ми не спостерігаємо, статистичний

приріст показника продуктивності становить до 0.001 кг С/м^2 за період спостережень (10 років) при тому, що навіть похибка усереднення сягає не менш як 0.0025, а похибка визначення — 0.18. Тобто достовірного зростання немає при достовірному збільшенні водного живлення (підвищення рівня опадів) і забезпечення CO_2 .

Такі результати спостережень можуть мати кілька пояснень. Одне з них полягає в тому, що середньорічне зростання температури не впливає суттєво на показники продуктивності рослинності. Більше значення мають показники розподілу температур за період активної вегетації. І саме в цей період, як свідчать розподіли температур, не спостерігається достатніх температур для забезпечення зростання продуктивності, навіть при сприятливих умовах водного режиму і забезпеченістю вуглецем з атмосфери.

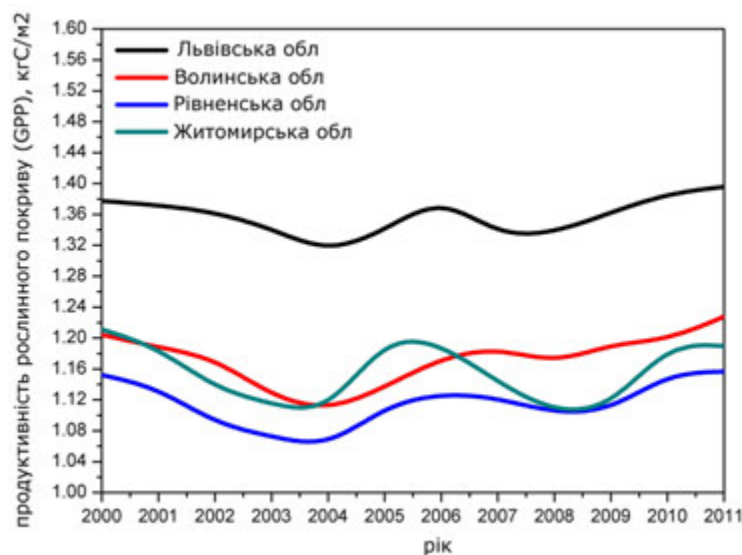


Рис. 5.13. Розрахунок показників продуктивності рослинного покриву (GPP) за даними супутникової зйомки MODIS 2000–2011 рр.

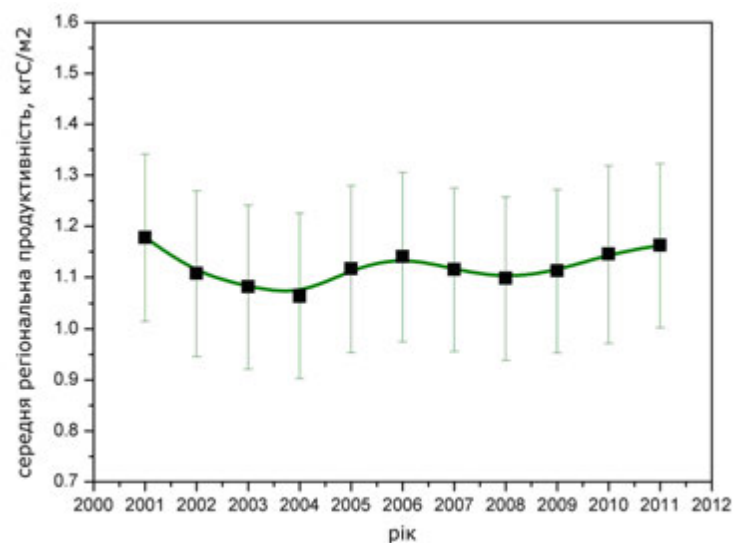


Рис. 5.14. Розподіл середньої по регіону басейну рр. Західного Бугу та Прип'яті (Львівська, Волинська, Рівненська та Житомирська області) продуктивності рослинного покриву за період 2001–2011 рр. за даними супутникової зйомки MODIS із визначенням абсолютної похибки оцінювання

Таким чином, ми реєструємо взаємозв'язок між локальними кліматичними особливостями, регіональними екологічними характеристиками і можемо переходити до аналізу показників регіональних розподілів надзвичайних ситуацій.

Запропонований алгоритм надає змогу отримувати важливі результати, які можуть бути використані для моделювання локальних і регіональних особливостей розвитку екосистем, прогнозування регіональних кліматичних змін та ризиків надзвичайних ситуацій.

Одержані результати дають підстави стверджувати, що запропонований алгоритм регуляризації дозволяє отримати розподіли з вищими показниками достовірності, порівняно із традиційними підходами, в задачах регіональних оцінок з характерними масштабами до 200–250 км. Крім того, беручи до уваги те, що цей підхід дозволяє оперувати даними не лише метеорологічних, а й інших спостережень, можна констатувати, що він є більш придатним для задач оцінки комплексної регіональної безпеки.

5.1.3. Аналіз рушійних сил надзвичайних ситуацій шляхом проблемно-орієнтованої просторово-часової регуляризації даних. Оцінка ймовірності проявів екстремальних кліматичних явищ за результатами аналізу даних метеорологічних спостережень

В даному розділі розглянуто метод визначення явної форми співвідношення, яке дозволяє оцінювати розподіли екстремальних показників кліматичних параметрів по відношенню до відомих середніх значень. Для цього в загальному випадку слід дослідити розподіл ймовірності множини даних спостережень досліджуваних параметрів, тобто визначити відповідність відрізкам $[a, b]$ ймовірність $\Pr[a \leq X \leq b]$ того, що випадкова величина X прийме значення з інтервалу $[a, b]$. Для однозначного визначення розподілу використовується функція розподілу ймовірностей $F(x)$, яка для нашого випадку дискретного розподілу може бути записана так:

$$F(x) = \Pr[X \leq x] = \sum_{x_i \leq x} p(x_i) \quad (5.6)$$

де $p(x_i)$ — ймовірність елементарної події. Функція $F(x)$ є неспадна і така, що задовольняє умовам:

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0, \lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1 \quad (5.7)$$

Оцінка розподілів екстремальних значень параметрів полягає у визначенні вигляду розподілу ймовірності у випадку:

$$P(x) = \Pr(X > x) \quad (5.8)$$

І відповідної функції розподілу ймовірностей $F(x)$ при $x \rightarrow \infty$.

Для цього за допомогою запропонованого алгоритму КРСА було проаналізовано розподіли метеорологічних показників на предмет виявлення закономірностей проявів екстремальних величин, які можуть впливати на виникнення надзвичайних ситуацій.

Зокрема, було проаналізовано частоти реєстрації максимальних та мінімальних значень температури повітря на метеостанціях, позначених в табл. 5.1 і 5.2, та оцінено найбільш ймовірні значення проявів максимальних і мінімальних показників температури при визначених середніх показниках. Результати такого аналізу подано на рис. 5.15–5.21.

Цікаво відмітити, що відповідно до наведених результатів оцінки, розподіл значень екстремальних температур (зафіксованих протягом року) по відношенню до середніх річних є близьким до нормального. При розрахунках між річною динамікою показників ризиків, рушійними силами яких є екстремальні кліматичні параметри, це є, звичайно, важливим, але, беручи до уваги значну сезонну варіабельність температури, властиву досліджуваному регіону, при аналізі відповідних ризиків слід також більше зосередитися на розгляді розподілів екстремальних значень температури в межах окремих сезонів.

Виходячи із наведених розподілів, можна визначити інтервал, в якому з максимальною ймовірністю знаходяться значення регіональних показників температури при змінах середніх показників (що відбуваються внаслідок глобальних змін) та відповідно, визначити межі цього інтервалу, які будуть описувати значення, що відповідатимуть проявам рушійних сил надзвичайних ситуацій. Апроксимаційне рівняння, що пов'язує зміну екстремальної температури $\Delta T_{ext} (\Delta T_{max} - \Delta T_{min})$ і середньої T_{mean} для Північно-Західного регіону України (басейн р. Прип'ять), може бути представлено у вигляді:

$$\Delta T_{ext} = \exp(-0.63 + 3.21T_{mean} - 1.07T_{mean}^2) \quad (5.9)$$

Наведене рівняння описує межі розподілу значень екстремальних температур при змінах середнього значення в межах річного інтервалу з достовірністю $R = 0.98$.

Таким чином, ми отримуємо вираз для визначення розподілу найбільш ймовірних значень екстремальних температур при відомих змінах середньої температури. І відповідно, ми зможемо більш коректно оцінювати ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із кліматичними явищами.

Середні значення зміни температури отримати наразі достатньо нескладно. Спостереження із невеликим просторовим і часовим розрізненням при простих процедурах регуляризації дають середні показники змін, також більшість моделей показує

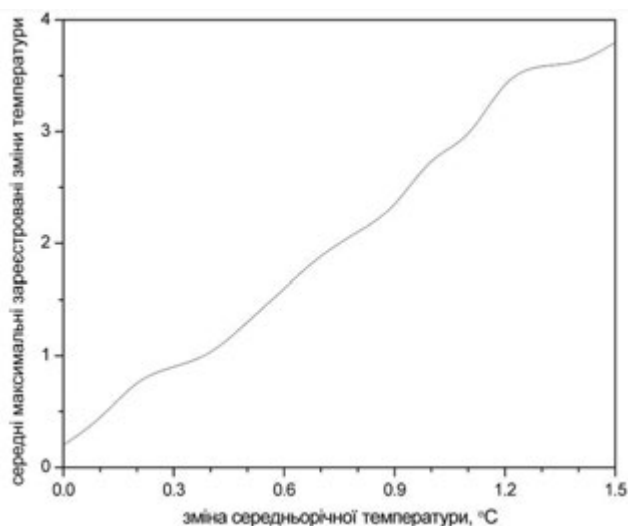


Рис. 5.15. Розподіл максимальних температур повітря у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

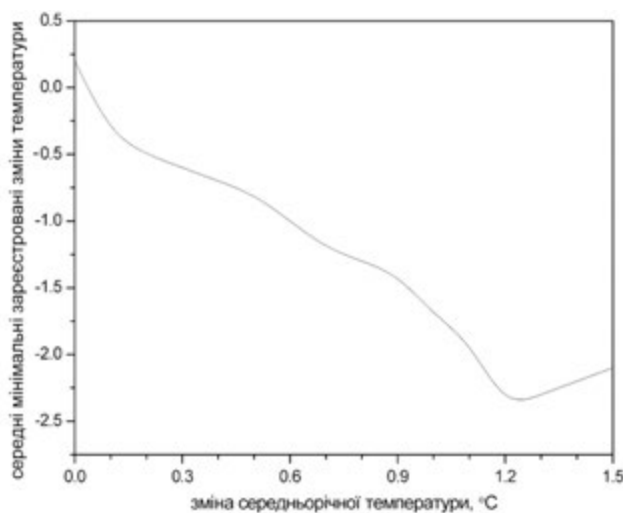


Рис. 5.16. Розподіл мінімальних температур повітря у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

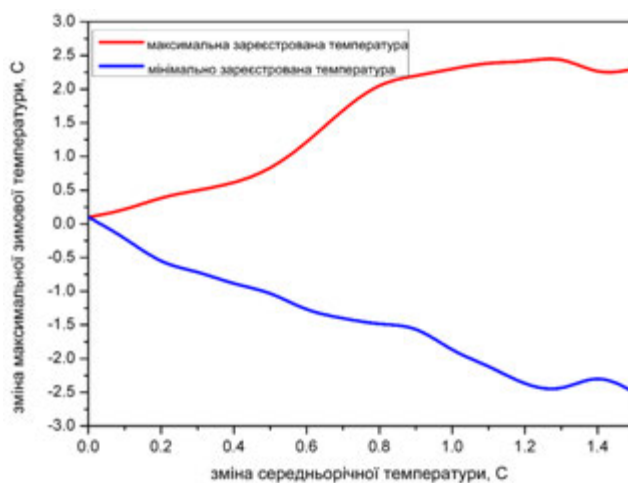


Рис. 5.17. Розподіл максимальних і мінімальних температур повітря у зимовий сезон (грудень — лютий) у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

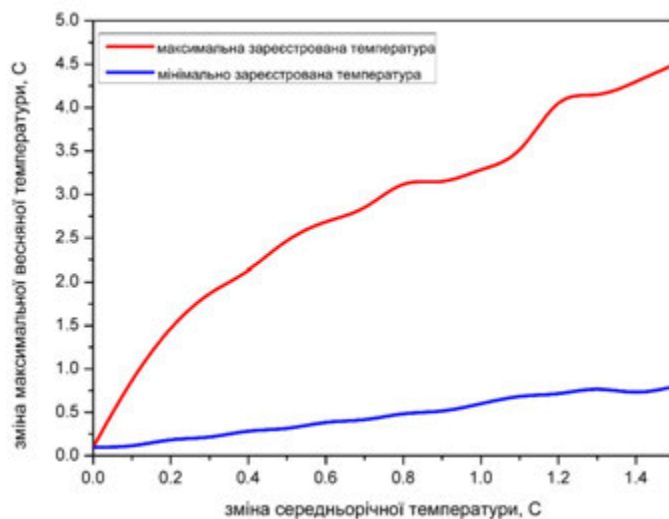


Рис. 5.18. Розподіл максимальних і мінімальних температур повітря у весняний сезон (березень — травень) у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

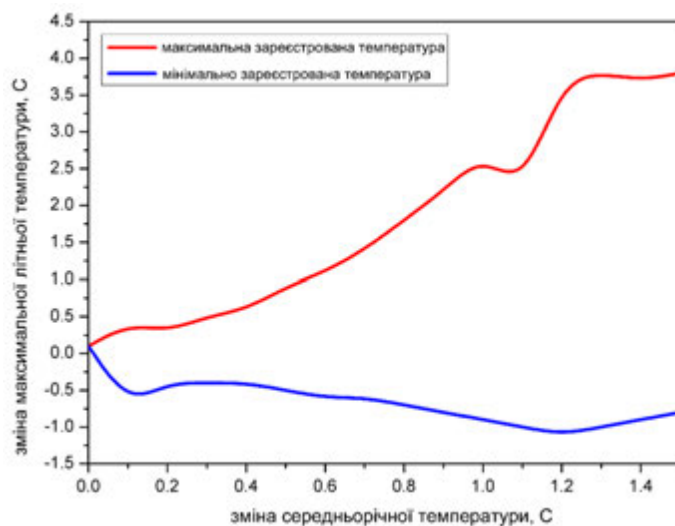


Рис. 5.19. Розподіл максимальних і мінімальних температур повітря у літній сезон (червень — серпень) у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

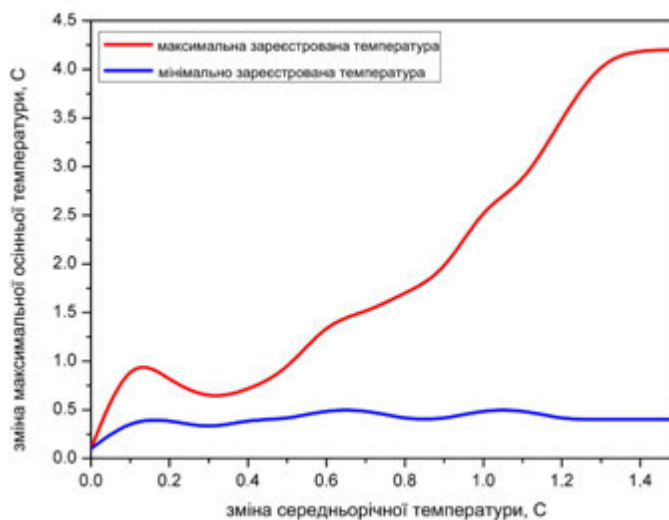


Рис. 5.20. Розподіл максимальних і мінімальних температур повітря у осінній сезон (вересень — листопад) у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

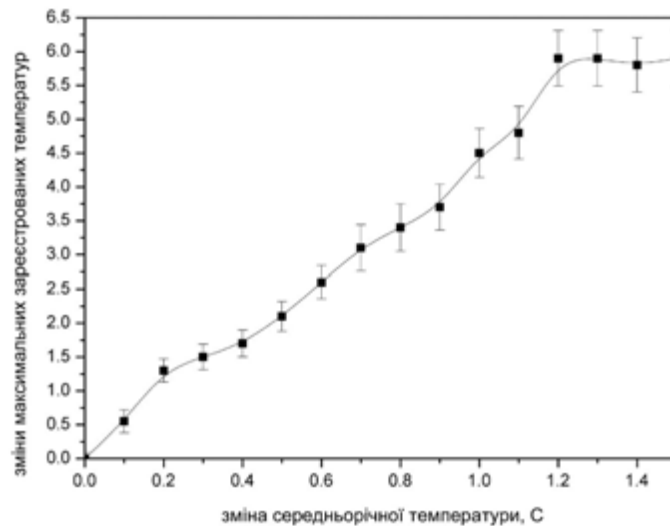


Рис. 5.21. Розподіл змін екстремальної температури повітря ΔT_{ext} у відповідності до зміни середньої річної температури (за даними аналізу метеорологічних спостережень північно-західного регіону України та регіону Українського Полісся, 1990–2010 рр.)

непогані результати при прогнозуванні середніх показників. При цьому якість прогнозування екстремальних показників є незадовільною. Тому задача оцінки розподілів екстремальних значень показників при відомих середніх є важливим і актуальним питанням.

Велике значення мають розподіли екстремальних значень температур у відповідності до зміни середнього для окремих сезонів.

Головне зауваження, яке можна зробити на основі аналізу спостережень, є те, що в межах року екстремальні значення температур по відношенню до середньорічних розподілені за законами, що істотно відрізняються від нормального. Для кожного сезону характерні свої особливості розподілів екстремальних температур. Так, для зимового сезону найбільш придатним є рівняння:

$$\Delta T_{ext}^{winter} = \exp(-0.59 + 3.86T_{mean} - 1.5T_{mean}^2) \quad (5.10)$$

яке описує межі розподілу значень екстремальних зимових температур при змінах середньорічного значення з достовірністю $R = 0.96$.

Найбільшими відхиленнями від нормального розподілу характеризується весняний сезон.

$$\Delta T_{ext}^{spring} = 0.38 + 3.87T_{mean} - 1.12T_{mean}^2 \quad (5.11)$$

Наведене рівняння описує межі розподілу значень екстремальних весняних температур при змінах середньорічного значення з достовірністю $R = 0.96$. При цьому експоненційна апроксимація вигляду $\Delta T_{ext}^{spring} = \exp(-0.23 + 2.1T_{mean} - 0.73T_{mean}^2)$ описує розподіл даних гірше, із достовірністю лише 0.91.

Апроксимаційне рівняння для літнього періоду може бути представлено у вигляді:

$$\Delta T_{ext}^{summer} = \exp(-1.14 + 3.52T_{mean} - 1.15T_{mean}^2) \quad (5.12)$$

Це рівняння описує межі розподілу значень екстремальних літніх температур при змінах середньорічного значення з достовірністю $R = 0.96$. При цьому, наприклад, розподіл максимальних значень температури, які провокують такі надзвичайні явища як посуха, теплові хвилі, підвищення пожежної небезпеки, тощо. описується залежністю від зміни середньорічної температури вигляду:

$$\Delta T_{max}^{summer} = \exp(-1.91 + 4.17T_{mean} - 1.33T_{mean}^2) \quad (5.13)$$

Розподіл екстремальних значень для осіннього періоду може бути апроксимований у вигляді:

$$\Delta T_{ext}^{autumn} = \exp(-0.89 + 3.86T_{mean} - 1.51T_{mean}^2) \quad (5.14)$$

Це рівняння описує межі розподілу значень екстремальних осінніх температур при змінах середньорічного значення з достовірністю $R = 0.97$. цікаво відмітити, що його вигляд фактично збігається із виглядом апроксимації для зимового періоду. Тобто поведінка меж інтервалу зміни екстремальних температур співпадає, хоча сам розподіл екстремальних температур істотно відрізняється.

Так, частота та абсолютні значення зареєстрованих випадків підвищення максимальних осінніх температур збільшуються при підвищенні середньорічної температури, при цьому мінімальні температури істотно не змінюються. Таким чином, можна стверджувати, що максимальна ймовірність проявів аномально теплої осені є при підвищенні середньорічної температури на $0.1 - 0.15^\circ\text{C}$ та в інтервалі $0.85 - 1.3^\circ\text{C}$. Це може бути пов'язано із ризиками розмноження шкідників та збудників захворювань, негативно вплинути на стан озимих посівів тощо. За результатами аналізу багаторічних спостережень можна оцінити, що в осінній сезон підвищення середньорічної тем-

ператури на 1°C призводить до зростання максимальних температур на 2.7°C та підвищення мінімальних на 0.6°C .

В зимовий період ми спостерігаємо збільшення абсолютних значень як максимальних, так і мінімальних зареєстрованих температур при підвищенні середньорічної, тобто частота та інтенсивність рушійних сил екстремальних явищ має зростати. Особливо небезпечним з цієї точки зору є інтервал підвищення середньорічної температури з 0.6 до 1.2°C . В зимовий сезон зростання середньорічної температури на 1°C призводить до підвищення максимальних температур на 2.2°C та зниження мінімальних на 1.8°C .

Розподіли екстремальних температур літнього сезону характеризуються незначним скороченням мінімальних температур, особливо в інтервалах зміни середньорічної температури $0.1\text{--}0.2$ і $0.8\text{--}1.5^{\circ}\text{C}$. Це може негативно вплинути на продуктивність екосистем, зокрема сільськогосподарських угідь. При цьому істотно зростають максимальні температури при змінах середньорічних показників в інтервалах $0.7\text{--}1$ та $1.2\text{--}1.35^{\circ}\text{C}$. Це може призвести до проявів аномальної жары, істотного підвищення ризиків ландшафтних пожеж, негативно вплинути на сільське господарство та водні ресурси, викликавши посухи. Зростання середньорічної температури на 1°C спричиняє збільшення максимальних температур на 2.8°C та зниження мінімальних на 0.7°C .

Найбільш суттєву тенденцію до зростання демонструють максимальні температури весняного періоду по відношенню до середньорічних змін. При цьому мінімальні температури також стабільно, хоча і значно повільніше зростають. Найбільш загрозливими можна визначити інтервали зміни середньорічної температури $0.4\text{--}0.9$ і $1.1\text{--}1.35^{\circ}\text{C}$, які можуть характеризуватися істотним підвищенням небезпеки повеней, ризиків ландшафтних пожеж. Загалом результати аналізу свідчать, що саме весняний період зазнає найбільшого впливу зміни температури. Можна сказати, що його тривалість скорочується, а температурні показники істотно зростають, тобто весна “наближається” до літа. Так, на 1°C підвищення середньорічної температури припадає близько 3.4°C збільшення максимальної температури і 0.6°C зростання мінімальної. При тому, що в середньому протягом року підвищення середньорічної температури на 1°C призводить до збільшення максимальних температур на 2.72°C та зниження мінімальних на 0.33°C (абсолютна варіація визначення значень температури становить $\pm 0.27^{\circ}\text{C}$).

Слід також окремо зазначити, що зважаючи на те, що наразі зареєстровані зміни середньорічної температури сягають $0.91 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$, можна стверджувати, що ми входимо в зону ризиків за більшістю сезонних змін за екстремальними показниками. Ми наближаємося до зони максимальних ризиків

літнього сезону, щойно увійшли в зону підвищених ризиків осіннього і зимового сезонів, знаходимося в зоні високих ризиків весняного сезону.

Наведені приклади демонструють можливість отримання в явному вигляді розподілів проявів екстремальних кліматичних явищ (що можуть бути інтерпретовані в термінах ймовірності) за результатами проблемно-орієнтованої просторово-часової регуляризації даних метеорологічних спостережень. Тобто, базуючись на результатах застосування кліматичних моделей (середні розподіли значень кліматичних показників, зокрема температури, визначених із відомою достовірністю), уточнених за регіональними вимірами (регуляризованими даними метеорологічних спостережень) і використовуючи залежності наведеного типу, можна проводити аналіз рушійних сил надзвичайних ситуацій та отримувати кількісні оцінки різномасштабних регіональних ризиків.

За наявною сукупністю даних спостережень (хоча її повноту можна за окремих зауважень взяти під сумнів) можна припустити, що розподіли екстремальних показників кліматичних параметрів описуються в більшості випадків розподілами, близькими до показникового (експоненційного) [66], який у випадку весняного сезону з найбільшою ймовірністю вироджується [50] в розподіл Парето [19, 53].

5.1.4. Метод інтеграції даних локальних метеорологічних спостережень в глобальні кліматичні моделі. Основи підходу до регіоналізації моделей кліматичних змін за даними регуляризованих регіональних спостережень

Окремо слід розглянути задачу про перерахунок існуючих кліматичних моделей з використанням даних всіх наявних обсягів реальних метеорологічних вимірювань, які не були включені в розрахунки за даною моделлю. Ця задача принципово відрізняється від так званої задачі регіоналізації кліматичних моделей. Задача регіоналізації моделей у традиційному розумінні зводиться зазвичай до задач так званого даунскейлінгу, тобто зміни (зазвичай — зменшення) просторової і часової розмірностей розподілів, отриманих за модельними розрахунками. Підхід, що пропонується, включає уточнення розрахунків на основі використання додаткових масивів даних, які не входять до звичайної моделі (зазвичай до глобальних моделей включається 5–10% наявних по території досліджень метеостанцій, чого вочевидь недостатньо при розрахунках регіональних прогнозів).

Принципова складність задачі полягає в тому, що кліматичні моделі розраховуються в так званому геопросторі, тобто в просторі, який є за визначен-

ням квазидвувимірним простором земної поверхні, що характеризується замкнутістю, позитивною кривизною (опуклістю), квазіфрактальністю та анізотропністю у геофізичних та космічних полях (наприклад, у гравітаційному, магнітному полі Землі). Місцоположення у геопросторі визначається сферичними (широта і довгота) або прямокутними координатами; анізотропність геопростору відображається у нерівнозначності горизонтального і вертикального напрямків (переміщення по вертикалі значно ускладнене), наслідком чого є сферичність будови Землі, а також (меншою мірою) широтного та довготного напрямків, проявом чого є широтна зональність [8]. Це визначає специфічну топологію розподілів даних модельних розрахунків. Результати спостережень при цьому є наборами даних, отриманих у визначених точках; таким чином, незважаючи на те, що вони є геореферованими (тобто географічно прив'язаними), для них не обов'язково справедливі всі базові постулати, які впливають із визначення геопростору.

З математичної точки зору задача полягає в тому, щоб включити в масив розрахункових даних із заданою визначеною топологією (в розраховані на геопросторі модельні дані) дані спостережень, тобто дані апіорі стохастичної природи, які мають описуватися абсолютно іншими методами і для яких не обов'язково виконуються умови, характерні для модельних даних.

В загальному випадку для вирішення цієї задачі слід вирішувати топологічну задачу про приведення у відповідність топології однієї множини (із заданою топологією) і набору множин випадкових даних з невизначеною апіорі топологією [1].

В нашому випадку топологія множини модельних даних задана визначенням геопростору. Тоді як топологія множин даних спостережень апіорі не визначена ніяк [20]. Виходячи із загальної теорії отримання та аналізу даних експериментів [14], ми можемо аналізувати дані поточних метеорологічних вимірювань в термінах теорії гільбертових просторів, на яких визначені обмежені і необмежені оператори, випадкові елементи і оператори, і у такий спосіб визначаються елементи лінійного й опуклого програмування. Таким чином, використання в нашому випадку теорії скінченновимірних гільбертових просторів для аналізу розподілів даних метеорологічних вимірювань може дозволити нам отримати результати, що дозволять визначити топологію відповідних множин і інтегрувати дані до множин із заданою топологією, тобто визначені на геопросторі.

Представлення даних спостережень у гільбертових просторах дозволяє нам залишитися в рамках так званого локального моделювання і в такий спосіб позбавитися необхідності задання залежних від структури даних крайових умов [52]. Це, в свою чергу, звільняє нас від необхідності узгодження в

подальшому граничних умов двох різних типів даних. Таким чином, математично задача зводиться до пошуку коректного методу інтегрування даних метеорологічних спостережень, в загальному випадку представлених у гільбертових випадкових просторах, і даних моделювання, представлених як рівномірні нормалізовані множини даних, визначені на геопросторі із заданою топологією.

Образно цю задачу можна представити як наклеювання латок довільної форми та розміру на поверхню круглого м'ячика [17]. При цьому латки мають бути підігнані одна до одної, загальна площа латок набагато менша за площу поверхні м'ячика, форма та топологія латок може бути будь-яка, м'ячик має кінцеву пружність, тобто ніколи не може змінити позитивну кривизну. Метод, який пропонується в даному розділі полягає в тому, що латки попередньо розгладжуються, їхні краї підрізуються та підганяються одна до одної, після чого вони послідовно наклеюються на поверхню м'ячика.

Тобто ми пропонуємо вбудовувати в модель додаткові дані, не використані під час побудови моделі, і перераховувати необхідні параметри по сітці, яка відповідає потребам локального моделювання та обґрунтовується наявними даними. Це означає, що на відміну від традиційного даунскейлінгу, запропонований підхід базується не на результатах моделювання і властивостях отриманих розрахункових множин (що мають суттєво обмежену просторову і часову розрізненість), а на даних регіональних вимірювань. Саме локальні дані і є визначальними при регіоналізації моделі у даному підході, що і слугує принциповою відмінністю.

Задача, таким чином розпадається на: 1) задачу редукції методики аналізу спостережень та отримання розподілів даних вимірювань та на 2) задачу інтеграції отриманих редукованих даних в модельні розподіли з подальшим розрахунком параметрів по редукованій сітці.

При вирішенні задачі уточнення моделі за наборами даних спостережень, представлених як гільбертові простори в частині редукції методики аналізу спостережень, будемо розглядати набори даних $\zeta(x_{ij})$, виміряних в методиці, представлених лінійними операторами $A_0 \rightarrow A$. Уточнювати A ми будемо при достатньо відомому (з відомою та/або керованою епістемічною достовірністю) сигналі $f(x_{ij})$, представленою випадковим вектором з відомим коваріаційним оператором $F \in (\mathfrak{X} \rightarrow \mathfrak{X})$, $Fx = Ef(x, f)$, $x \in \mathfrak{X}$ вимірюючи при цьому набори змінних [13]:

$$\xi' = Af' + v', \quad (5.15)$$

де v — випадковий елемент гільбертового простору $\mathfrak{X}$ з кореляційним оператором $\Sigma x = E v(x, v)$, $x \in \mathfrak{X}$, $Ev = 0$ що визначає похибку, або “шум”, тобто міру алеаторичної невизначеності вимірювань; ζ —

вимірювання, уточнені відносно моделі ζ ; E — математичне сподівання; A — методика, або “модель вимірів” — випадкові лінійні оператори (такі, що $A \in B\mathfrak{X} \rightarrow \mathfrak{H}$, $x \in \mathfrak{X}, y \in \mathfrak{X}$, а функція $f(Ax, y) = f(x, A^*y)$), які визначають методику перетворення даних.

Якщо ми введемо будь-яку вимірювану множину M ($M \subset \mathfrak{H}$ в $\mathfrak{X}$), на якій визначимо випадковий вектор η , що буде описувати розподіл регуляризованих даних з визначеною достовірністю, то по відношенню до нього задача визначення методики інтеграції даних спостережень до загальної моделі, тобто уточнення (редукції) операторів, може бути визначена так [18]:

$$A_\eta = E(A|\eta), J_\eta = (E((A - A_\eta)^* F (A - A_\eta) | \eta)). \quad (5.16)$$

Тут F — коваріаційний оператор даних; J — оператор невизначеності.

В такому випадку задача редукції розподілів даних може бути сформульована як:

$$\begin{aligned} E(\inf \{E(\|R'\zeta - Uf\|^2 | \eta) R' \in (\mathfrak{X} \rightarrow U)\}) = \\ = E(E(\|R\eta\zeta - Uf\|^2 | \eta)) = E\|R\eta\zeta - Uf\|^2 \end{aligned} \quad (5.17)$$

де U — ортогональний проектор на підпростір. Таким чином, мова йде про визначення випадкового оператора $R' = R\eta$, який відповідає умові [4]:

$$\inf \{E(\|R'\zeta - Uf\|^2 | \eta) R' \in (\mathfrak{X} \rightarrow U)\} = E(\|R_\eta\zeta - Uf\|^2 | \eta). \quad (5.18)$$

При розв'язанні цієї задачі ми отримуємо взаємозгоджені розподіли даних спостережень, із скоординованими границями, за результатами аналізу розподілів даних окремих вимірювань. Одержані множини, в представленні гільбертових просторів, за своїми топологічними властивостями можуть бути інтегровані (редуковані) в глобальні моделі будь-якої складності.

Таким чином, на першому етапі задача зводиться до визначення регуляризованих розподілів даних спостережень. Крім того, слід зазначити, що актуальною є проблема оцінки невизначеностей отриманих розподілів.

Задача одержання множин регуляризованих у просторі і часі статистично достовірних розподілів метеорологічних показників за даними спостережень на метеостанціях по території досліджень може вважатися розв'язаною через застосування запропонованого алгоритму нелінійної просторово-часової регуляризації даних на основі аналізу головних компонент із застосуванням модифікованого методу згладжувальної нелінійної ядерної функції — КРСА. Використовуючи запропонований алгоритм ми отримуємо регуляризований просторово-часовий розподіл характеристик досліджуваних параметрів по всьому періоду спостережень із згладжувальними показниками достовірності з урахуванням усіх джерел спостережень [72] (тобто дані різних спостережень, інтегровані в одну множину).

Відповідно до наведеного вище загального підходу, задача надалі полягає в інтеграції множини даних, представлених у вигляді гільбертових просторів із заданими лінійними операторами перетворень до множини даних із заданою топологією (множини модельних рішень).

Отже, за результатами аналізу даних у рамках описаного методу ми отримуємо сукупність нормалізованих розподілів $\xi_t = A_t f(x_t) + v_t$, де t — момент часу (що визначається як крок модулювання для множини модельних даних і як міра множини даних для розподілів даних метеорологічних спостережень). Надалі пропонується спільно аналізувати дані моделювання та спостережень в рамках модифікованого методу трансформації ансамблів фільтрацією Кальмана (Ensemble Transform Kalman Filter — ETKF) [73].

При цьому будемо вважати, що вектори істинного стану системи x в момент часу k визначаються відповідно до загального закону:

$$x_t = F_t x_{t-1} + B_t u_t + w_t, \quad (5.19)$$

де F_t — матриця еволюції системи, тобто модельованих впливів на вектор x_{t-1} в момент $t-1$; B_t — матриця управляючих, вимірних впливів u_t на вектор x ; w_t — випадковий процес з коваріаційною матрицею Q_t . Таким чином, ми вводимо опис модельних розподілів F_x та даних спостережень B_t .

Визначимо екстраполяційне значення вектора істинного стану системи за оцінкою вектору стану на попередньому кроці:

$$x_{t|t-1} = F_t x_{t-1|t-1} + B_t u_{t-1}. \quad (5.20)$$

Для цього екстраполяційного значення вектора істинного стану можна визначити загальний вигляд коваріаційної матриці:

$$P_{t|t-1} = F_t P_{t-1|t-1} F_t^T + Q_{t-1}. \quad (5.21)$$

Різниця між оцінюваним (екстраполяційним) значенням вектора істинного стану системи та отриманим на відповідному кроці моделювання може бути оцінена так:

$$\Delta x_t = \xi_t - A_t x_{t|t-1}, \quad (5.22)$$

а коваріаційна матриця відхилення:

$$S_t = A_t P_{t|t-1} A_t^T + R_t. \quad (5.23)$$

Далі, на основі коваріаційних матриць екстраполяції вектора стану та отриманих вимірів, введемо матрицю оптимальних коефіцієнтів Кальманівського підсилення:

$$K_t = P_{t-1} A_t^T S_t^{-1}, \quad (5.24)$$

використовуючи яку скорегуємо екстраполяційні значення вектора істинного стану системи:

$$x_{t|t} = x_{t|t-1} + K_t \Delta x_t. \quad (5.25)$$

При цьому вводимо геореферований фільтр на розподіл вектора стану x_{ij} , який залежатиме від географічно прив'язаних координат j, i та не залежатиме в загальному випадку від моменту часу t :

$$(x_{ij})_t = (x_{ij})_t^\alpha = (x_{ij})_t \alpha_{ij}. \quad (5.25)$$

Тут коефіцієнти α обираються відповідно до введеного алгоритму КРСА [51] за правилом оцінки оптимального балансу функції взаємної валідації та матриці коваріації:

$$C^F v = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Phi(x_j) \Phi(x_j)^T \sum_{i=1}^N \alpha_i \Phi(x_i), \quad (5.27)$$

де нелінійна функція розподілу вхідних даних Φ задовольняє умовам: $\sum_{k=1}^N \Phi(x_k) = 0$ [65], а $\tilde{k}_t$ — усереднені значення ядерель-матриці $\mathbf{K} \in R^N$ (де $[\mathbf{K}]_{ij} = [k(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$). Ця матриця складається із ядерель-векторів, що визначаються, як $k_t(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = [k_t(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)]$. Ядерель-матриця розраховується відповідно до модифікованого правила [25]: $k_t(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \left(\rho_{ij}^{x_j} (1 - \rho_{ij}^{x_j})^{x_j} \right)$, де ρ — емпіричні параметри, які обираються відповідно до моделі класифікації досліджуваних явищ [72].

Якщо застосувати цей фільтр і пам'ятати про необхідність взаємоузгодження множин даних, можна запропонувати вигляд матриці коваріації P^a для аналізу фактичних похибок, виходячи із вигляду матриці коваріації похибок екстрапольованого значення вектора стану системи P^f та матриці коваріації даних спостережень R :

$$P^a = P^f - P^f A^T (A P^f A^T + R)^{-1} A P^f. \quad (5.28)$$

Таким чином, ми отримуємо засіб для оптимізації розрахунку матриці оптимальних коефіцієнтів Кальманівського підсилення і, відповідно корекції екстраполяційних значень вектора істинного стану системи за сукупними даними моделювання і спостережень.

Після закінчення процедури інтеграції даних ми обчислюємо необхідні параметри за алгоритмом:

$$x_t^{(ij)} = \sum_{m=1}^n w_{ij}(\hat{x}_t^m) x_t^m, \quad (5.29)$$

де $w_{ij}(\hat{x}_t^m)$ — ваговий коефіцієнт, який визначається через пошук мінімуму [3]:

$$\min \left\{ \sum_{m=1}^n \sum_{x_t^m \in R^m} w_{ij}(\hat{x}_t^m) \left(1 - \frac{x_t^m}{\hat{x}_t^m} \right)^2 \right\}. \quad (5.30)$$

В цьому рівнянні m — кількість проведених екс-

периментів; n — кількість джерел даних; x_t^m — розподіл результатів спостережень; R^m — множина (загальна сукупність) даних; x_t^m — кореговані екстраполяційні значення вектора істинного стану системи за сукупними даними моделювання і спостережень.

Таким чином ми отримуємо регулярний просторовий розподіл вимірюваних характеристик по локальній території дослідження як за результатами модельних розрахунків, так і з урахуванням регіональних метеорологічних вимірювань по сітці, яка відповідає розподілу даних вимірювань, тобто має значно краще розрізнення, ніж звичайна модельна.

Використовуючи наведений підхід, було обраховано сценарії зміни окремих кліматичних показників по території, яка включає Україну, на період до 2030 р. з використанням в якості базової моделі CCSM3 (The Community Climate System Model version 3) Національного центру досліджень атмосфери США (NCAR). Початкове лінійне просторове розрізнення цієї моделі становить для нашої території приблизно 420 км (діагональ стандартної розрахункової комірки розміром $2.8 \times 2.8^\circ$ або 305×291 км), використані сценарії емісій A2 і B2. Застосування запропонованого методу дозволило редукувати просторове розрізнення до 49 км (діагональ редукованої розрахункової комірки розміром 35×35 км).

Всього було розраховано просторово-часові розподіли восьми параметрів: температура повітря, температура поверхні, кількість опадів/очікувана середня товщина снігового покриву, середній поверхневий стік, атмосферний тиск, вологість ґрунту, вміст вологи в поверхневому шарі ґрунту (коренева зона) з часовим розрізненням 2 тижні і 1 місяць, на розрахункових комірках розміром 35×35 км і 50×50 км.

Наведені розрахунки можна використовувати в подальшому для отримання більш адекватних оцінок ризиків, пов'язаних із кліматичними змінами на регіональному рівні, а також для оптимізації стратегій адаптації господарювання до небезпечних змін.

Автори висловлюють подяку за надані дані, моделі та обчислювальні потужності колегам з NCAR, Національного управління з питань досліджень атмосфери та океану (NOAA), Університету Чикаго та Університету Джона Хопкінса (John Hopkins University), США.

5.1.5. Метод оцінки комплексних мір ризику за результатами спільного аналізу багатовимірних мультіваріативних величин

Основним питанням є кількісна оцінка міри ризику у випадках багатовимірних мультіваріативних величин. Це вимагає коректної оцінки всіх частин

функції розподілу втрат від небажаної події. Ми розглядаємо набір відповідних ймовірностей p , тобто оцінюємо набори квантилів q , що відповідають розподілу p . Функція розподілу може бути безперервною, і в цьому випадку ми розглядаємо функції $q(p)$ за умов безперервного розподілу значень p , або дискретні, і в такому випадку отримуємо набір з N окремих значень $q(p)$ для кожного p . У випадках, коли розподіли вимірюваних величин, а отже, розподіли відповідних ймовірностей p , не є відомими і не можуть бути представлені у вигляді лінійних нормальних розподілів (тобто в більшості реальних випадків), слід застосовувати непараметричні методи оцінювання.

Непараметричні методи оцінювання спрямовані на оцінку ризику без застосування жорстких припущень щодо властивостей досліджуваних розподілів. Тобто замість введення параметрів розподілів ми оцінюємо ризик за емпіричними розподілами, які впливають із властивостей розподілів досліджуваних даних. Порівняно з параметричними методами, непараметричні методи дозволяють запобігти небезпеці помилкової апіорної оцінки розподілу, яка призводить до великих похибок у кінцевих мірах ризику. Непараметричні методи базуються на припущенні, що найближчі значення розподіляються так само, як і попередні дані, тобто ми можемо спрогнозувати розвиток системи, використовуючи останні дані (представлені емпіричними розподілами). Переваги непараметричних методів на практиці залежать, таким чином, від дотримання цього припущення в різних ситуаціях. Як показує практика, в більшості випадків це припущення виконується, тобто непараметричні методи працюють добре [22, 40]. З іншого боку, якщо це припущення не виконується, особливо на границях розподілів, то непараметричні методи можуть мати чутливі невизначеності, зокрема, там, де розподіли мають екстремуми.

Зазвичай значення квантилей отримуються з гістограм емпіричних розподілів даних, які регуляризуються та уточнюються різними способами. Зокрема, можна регуляризувати гістограми за допомогою ядерель-методів, які є найбільш складними із сучасних непараметричних методів оцінювання розподілів [28], що дозволяє згладжувати зубчасті гістограми без введення жорстких припущень щодо властивостей розподілів даних.

Також можна розширити коло непараметрич-

них методів оцінювання, включивши до розгляду не лише відомі із спостережень емпіричні статистики, але й додаткові, зокрема, штучно сконструйовані розподіли. Наприклад, можна сконструювати окремий гіпотетичний сценарій, що базується на окремих даних, надати певну ймовірність його реалізації і застосувати непараметричний метод спільної оцінки емпіричного (“історичного”) і гіпотетичного (“неісторичного”) сценарію. Включення до розгляду додаткових, наприклад, гіпотетичних розподілів, дозволяє подолати головний недолік непараметричних методів оцінювання — їхню повну залежність від множин емпіричних даних і, таким чином, слабкість у визначенні екстремумів. Важливим інструментом вивчення взаємних залежностей наборів розподілів є копула-функції. В роботі Frees and Valdez (1998) [35] наведено загальний опис використання копула-функцій для кількісного вивчення ризиків. Більш детально ці методи описано в роботах Cherubini, Luciano, and Vecchiato (2004) [24].

Для оцінки довгострокових багатовимірних корелятивних зв'язків у мультіваріативних розподілах можна запропонувати використовувати, виходячи із отриманих результатів аналізу даних, вигляд копули в еліптичній формі [30]. Зокрема, аналізуючи отримані дані можна запропонувати для подальшого аналізу ризиків та визначення стратегій мінімізації збитків, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями, використовувати багатовимірну функцію розподілу ймовірностей, яка враховувала б виявлені багатоваріативні внутрішні залежності в структурі розподілів надзвичайних ситуацій найкращим чином. Якщо розподіл спостережень описується випадковим вектором $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ з функцією спільного розподілу $F_{X_1, X_2, \dots, X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ і маргінальними функціями розподілів $F_{X_1}(x_1), F_{X_2}(x_2), \dots, F_{X_n}(x_n)$, то відповідно до [67], можна визначити функцію розподілу C на гіперкубі $[0,1]^n$ таку, що її маргінальні розподіли будуть рівномірними на відрізку $[0,1]$ і буде виконуватися умова $F_{X_1, X_2, \dots, X_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F_{X_1}(x_1), \dots, F_{X_n}(x_n))$. Застосування алгоритмів регуляризації дозволило отримати розподіли, що задовольняють викладеним умовам, крім того, функції розподілів F_{X_i} можна представити як неперервні для всіх $i = 1, 2, \dots, n$ і, таким чином, відповідно до [67], зазначена функція розподілу C , яка має назву функції копули, буде визначена однозначно. Для нашого випадку функцію копули представимо у вигляді [62]:

$$C_{v,c}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \frac{v \sqrt{c} (v\pi)^n}{v+n} \cdot \frac{\prod_{n=1}^N \frac{(1+\frac{1}{n})^{\frac{v+n}{2}}}{1+\frac{v}{n}}}{\prod_{n=1}^N \frac{(1+\frac{1}{n})^{\frac{v}{2}}}{1+\frac{v}{n}}} \cdot \int_{x_1}^{(u_1)} \dots \int_{x_n}^{(u_n)} \left(1 + \frac{\mathbf{x}_t^{(x,y)}}{c v} \right) dx_t^{(x,y)} \quad (5.31)$$

де c — отримана за результатами аналізу регуляризованих даних матриця кореляцій.

Матриця кореляцій розраховується за результатами аналізу статистик, регуляризованими за відповідними алгоритмами і може бути представлена в явному вигляді.

Застосування такого вигляду функцій для опису розподілу залежностей між ризиками катастроф підтверджено дослідженнями фахівців у галузі фінансів і страхування, зокрема [21, 63]. Так, запропоновану формулу можна з певними застереженнями вважати окремим випадком описаного в роботах [62, 63] загального підходу до оцінки ризиків.

В такому вигляді ми отримуємо можливість визначити довгострокові тенденції перебігу взаємопов'язаних процесів і явищ, представлених стохастичними даними спостережень [29, 71].

Однак слід взяти до уваги той факт, що ризики в складних випадках опису великих багатокомпонентних систем на значних часових проміжках не можна адекватно описувати лінійними суперпозиціями скалярних кореляцій [31, 32]. Тут необхідно використовувати більш складні залежності, що відображають складні взаємозв'язки в системі, враховують просторово-часові гетерогенності і невизначеності, притаманні досліджуваному явищу [32].

Для розподілів екстремальних явищ у межах інтервалів, на яких поведінка досліджуваних параметрів суттєво відрізняється від нормальних розподілів (в нашому випадку це середньострокові, сезонні розподіли, насамперед весняний сезон, а також багатовимірні розподіли, що включають параметри, що не можуть бути коректно усереднені, наприклад, опади), слід використовувати інший тип копули, який дозволить більш точно визначити поведінку окремих компонент розподілів випадкових величин [37]:

$$C(u_1, u_2) = \exp\left(-V\left(-\frac{1}{\log u_1}, -\frac{1}{\log u_2}\right)\right) \quad (5.32)$$

$$V(x, y) = \int_0^1 \max\left(\frac{\omega}{x}, \frac{1-\omega}{y}\right) dH(\omega) \quad (5.33)$$

Тут

$$H(\omega) = \begin{cases} 0, \omega < 0; \\ 1/2(\omega(1-\omega))^{1-\alpha}(\omega^{-\alpha}(1-\omega)^{-\alpha})^{\frac{1}{\alpha-2}} d\omega, 0 \leq \omega < 1; \\ 1, \omega \geq 1 \end{cases} \quad (5.34)$$

Тобто для розгляду екстремальних явищ із групи взаємозалежних (або слабо залежних) явищ, наприклад надзвичайних ситуацій гідрологічного характеру, можна використовувати розрахункову форму з $0 \leq \omega < 1$.

Наведена форма, по-перше, дозволяє визначити зв'язок окремих кліматичних показників з розподілами визначених параметрів надзвичайних ситуацій на регіональному рівні в масштабах окремих сезонів, а, по-друге, дає можливість в подальшому

вбудовувати додаткові алгоритми регуляризації даних, що зменшать невизначеності і таким чином, підвищать достовірність прогнозування [44].

Для оцінки поведінки випадкових значень розподілів міри ризику досліджуваних величин в залежності від кількох ймовірнісних розподілів кліматичних, екологічних та інших параметрів, які мають суттєві гетерогенності розподілів і з якими досліджувані величини пов'язані визначеними корелятивними зв'язками, можна запропонувати використати метод спільного аналізу багатовимірних мультиваріативних величин, який базується на непараметричних методах кернелівських копула-функцій [23, 30]. Цей метод дозволяє, по-перше, усунути можливі похибки, що виникають внаслідок різниці інтервалів спостереження різних досліджуваних параметрів, і, по-друге, згладжує можливі розриви у взаємних розподілах даних.

Визначимо як $K_{u,b}(x)$ — кернел-вектор для $u \in [0; 1]$ на інтервалі $h > 0$ у формі [23, 30]:

$$K_{u,b}(x) = \frac{K(x)(a_2(u,b) - a_1(u,b)x)}{a_0(u,b)a_2(u,b) - a_1^2(u,b)}, \quad (5.35)$$

$$a_l(u,b) = \int_{\frac{u-1}{b}}^{\frac{u}{b}} t^l K(t) dt, \quad l = 0, 1, 2. \quad (5.36)$$

Визначимо також функції $G_{u,h}(t)$ і $T_{u,h}$:

$$G_{u,b}(t) = \int_{-\infty}^t K_{u,b}(x) dx, \quad (5.37)$$

$$T_{u,b} = G_{u,b}\left(\frac{u-1}{b}\right). \quad (5.38)$$

Функція розподілу комплексного показника буде визначатися функціями розподілів досліджуваних показників $X_1, X_2, \dots, X_n$ через копулу C :

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F_1(X_1), F_2(X_2), \dots, F_n(X_n)). \quad (5.39)$$

Розподіли екстремальних значень досліджуваних показників $F_i(x)$ будуть описуватися іншими функціями розподілів, які відповідатимуть випадку, коли параметри перевищують певний поріг $x_i > u_p$ і будуть представлені у вигляді:

$$F_i(x) = 1 - \frac{N_{u_i}}{n} \left(1 + \xi_i \frac{x - u_i}{\beta_i}\right)^{-\frac{1}{\xi_i}}, \quad i = 1, 2. \quad (5.40)$$

Тут ξ — параметр згладжування; β — параметр, що визначає взаємну залежність досліджуваних розподілів ($\beta \in [0, 1]$; при цьому, якщо $\beta = 0$, то розподіли є абсолютно незалежними, а якщо $\beta = 1$ — то повністю взаємозалежними).

В такому випадку вигляд оптимального кернелівського копула-корелятора буде в загальному випадку таким [23]:

$$\hat{C}(u, v) = n^{-1} \sum_{i=1}^n G_{u,b} \left(\frac{u - F_1(X_{i1})}{b} \right) G_{v,b} \left(\frac{v - F_2(X_{i2})}{b} \right) - (uT_{u,b} + vT_{v,b} + T_{u,b}T_{v,b}) \quad (5.41)$$

Ця загальна форма дозволяє отримати вигляд оптимального корелятора, який пов'язує прояви екстремальних явищ, наприклад, частоту надзвичайних ситуацій і кліматичні показники, зокрема, зміни температури повітря.

Як приклад використання запропоновано підходу до визначення сталих взаємних кореляцій між параметрами ризиків та кліматичними показниками, було визначено форму “оптимального корелятора” між температурою повітря та кількістю надзвичайних ситуацій — “приведена максимальна температура” T_{red} у вигляді:

$$T_{red} = \left(1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N T_n \right) \left(1 - \frac{1}{T_{max} - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N T_{max}} \right) \quad (5.42)$$

Тут N — кількість метеорологічних спостережень; T_n — зареєстровані температури повітря; T_{max} — максимальні зареєстровані температури протягом періоду спостережень.

Середні показники кореляції запропонованого індексу T_{red} з кількістю надзвичайних ситуацій в залежності від досліджуваного періоду лежать в межах 0.95–0.98 і є вищими, порівняно із показниками, властивими середнім (0.69–0.73), або максимальними (0.85–0.9) температурам для інтервалів в межах періоду спостережень 1960–2010 рр. (табл. 5.3.).

Таким чином, в залежності від періоду запропонований підхід (використання розрахованого оптимального корелятора) дозволяє підвищити точність оцінки частоти надзвичайних ситуацій за даними спостережень кліматичних показників у середньому на 22% (11–34%), що є суттєвим показником для довгострокових оцінок.

Використовуючи наведений підхід можна отримати сталі достовірні кореляції вимірюваних показників із параметрами ризиків, які ми хочемо оцінити. Тобто не маючи детермінованих моделей (або в усякому випадку, не маючи детермінованих феноменологічних моделей із достатнім просторовим і часовим розрізненням), ми можемо отримати просторово розподілені оцінки показників ризиків за даними серій спостережень стану середовища.

В якості прикладу застосування непараметричних ядерелівських копула-функцій можна запропонувати розрахунки кількох показників ризиків та екологічної безпеки.

5.1.6. Обмеження запропонованого методу моделювання

Запропонований метод аналізу рушійних сил надзвичайних ситуацій, заснований на алгоритмі КРСА, має певні обмеження, що впливають із природи використаного алгоритму.

По-перше, метод відноситься до так званих локальних методів моделювання [52], тобто до сім'ї непараметричних методів оцінювання, які ґрунтуються на властивостях розподілів досліджуваних даних і не потребують введення додаткових умов, апріорних параметрів розподілів тощо. В загальному випадку локальні моделі, на відміну від глобальних балансових моделей, не передбачають виконання законів збереження [52], принаймні одночасного виконання. Це дозволяє бути вільними при виборі граничних умов, не вводити додаткових складних обмежень та використовувати всю наявну сукупність даних спостережень. Водночас виникає інша проблема. Закони збереження ґрунтуються на припущенні про однорідність часу. І відмовляючись від законів збереження, ми втрачаємо шкалу часу, що може виявитися значним ускладненням при сценарних розрахунках. Ця проблема може бути вирішена шляхом введення штучної шкали часових відліків для кожного (або для певних наборів) розподілу і випадку моделювання, або, як в нашому алгоритмі — через введення часу в якості універсальної міри випадкових множин даних спостережень. Таким чином ми усуваємо загальну проблему. Регуляризація сукупності множин гетерогенних даних може бути коректно проведена запропонованим шляхом.

Але при аналізі розподілів екстремальних показників по відношенню до змін середнього значення проблема часу виникає знову в іншому вигляді. Використання часу як універсальної міри не дозволяє аналізувати як незалежні в часі розподіли середніх та екстремальних показників. Тобто, в рамках наве-

Таблиця 5.3.

Розраховані показники кореляції кількості надзвичайних ситуацій N_d з кліматичними показниками — середньою температурою T_{mean} , максимальною температурою T_{max} та приведеною температурою T_{red} в різні часові проміжки для регіону Українського Полісся

Кліматичні показники	Середня температура. °C T_{mean}	Максимальна температура. °C T_{max}	Приведена температура. °C T_{red}
Періоди спостережень			
1960–1990	0.7	0.88	0.95
1990–2010	0.73	0.9	0.98
1960–2010	0.69	0.85	0.95

деного вигляду запропонованого алгоритму неможливо точно визначити короткострокові градієнти екстремальних значень при монотонній поведінці середнього.

На практиці це означає, що аналізувати екстремальні параметри як рушійні сили надзвичайних ситуацій за допомогою запропонованого алгоритму ефективно можна на довгих і середніх масштабах. На короткострокових інтервалах підвищення достовірності досягається лише за рахунок кращої просторової розрізненості методу.

Для короткострокових (від кількох днів до кіль-

кох тижнів, тобто прогнозів у межах сезону) оцінок метод має бути модифікованим, зокрема, через верифікацію за даними поточних вимірювань (тобто з методологічної точки зору — через введення квазінезалежної множини даних із визначеним масштабом часу). Таким чином, хоча в рамках задачі, що вирішується (побудова методики середньо- і довгострокових оцінок ризиків) запропонований метод є цілком придатним і за окремими показниками кращим за існуючі аналоги, однак він має обмеження у застосуванні при вирішенні інших типів задач і потребує певних модифікацій.

5.2. Математична та експертна оцінка небезпек, пов'язаних з довгостроковими змінами клімату та довкілля

5.2.1. Оцінка показників ризиків ландшафтних пожеж

Для розрахунку показників ризиків ландшафтних пожеж можна використати такий набір розподілів: розподіл ймовірностей займання, отриманий за допомогою систем ДЗЗ; розподіли кількості ландшафтних пожеж на основі статистики відповідних відомств (Держлісосуспу та МНС); просторово-часовий розподіл продуктивності екосистем, одержаний за результатами моделювання [2], розподіл кліматичних показників, отриманий за розрахунками регіонально адаптованих кліматичних моделей; розподіл атмосферного вмісту ПГ, одержаний за результатами супутникових спостережень [54]. Також для аналізу вмісту вуглецю в атмосфері можуть бути використані сценарії емісій [36, 43].

Ключовою змінною тут є розподіл ймовірностей займання, отриманий за допомогою систем ДЗЗ. В роботі [6] запропоновано обґрунтування методики моніторингу ландшафтних пожеж. Здійснюваний за допомогою цієї методики кризовий та посткризовий моніторинг дозволяє одержати калібрувальні дані для моделей розповсюдження пожежі [55, 61], а також дані для оцінки економічних і прямих екологічних збитків [42]. Використання цієї методики дає розподіл кількості займань по певній території за час спостережень. Таким чином, ми отримуємо розподіл, який включаємо до аналізу в рамках застосування запропонованої копули.

Слід ще раз зазначити, що результати використання цієї методики дають не розподіл пожеж, а розподіл місць найбільш ймовірного займання за визначених теплових умов, тобто визначення міри ри-

зику пожежі за цими даними потребує додаткової процедури розрахунку. Ця процедура має включати аналіз розподілу природного палива, тобто кількості, розподілу та стану живої та мертвої речовини, яка може горіти під час ландшафтною пожежі, а також модель розповсюдження пожежі, як це було показано в [6].

Виходячи із розподілів зареєстрованих займань по території досліджень, можна вирахувати показники ймовірності виникнення пожежі (за даними супутникового спостереження) та ризику пожежі (за даними аналізу статистики надзвичайних ситуацій) за окремими типами екосистем, використовуючи дані тематичного дешифрування (рис. 5.22–5.25).

В такому випадку можна розрахувати прогнозні показники ймовірності займання та ризику пожежі для певного часового проміжку, для якого із визначеною достовірністю відомі кліматичні показники і показники продуктивності екосистем.

На рис. 5.26 наведено результат розв'язання задачі оцінки динаміки природного палива (кореляції модельних значень та даних ДЗЗ) при заданих розподілах ймовірності загоряння (визначених через багаторічні спостереження реєстрації пожеж супутниковими методами та на підставі кореляційного аналізу) та оцінених із певною достовірністю кліматичних змін.

Таким чином, розрахунки показують істотне збільшення ризиків, пов'язаних із ландшафтними пожежами (у 2 рази протягом 50 років), що відповідає загальному тренду зростання ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій кліматичного походження.

Література — див. розділ 5, підрозділи 5.2.2–5.2.5

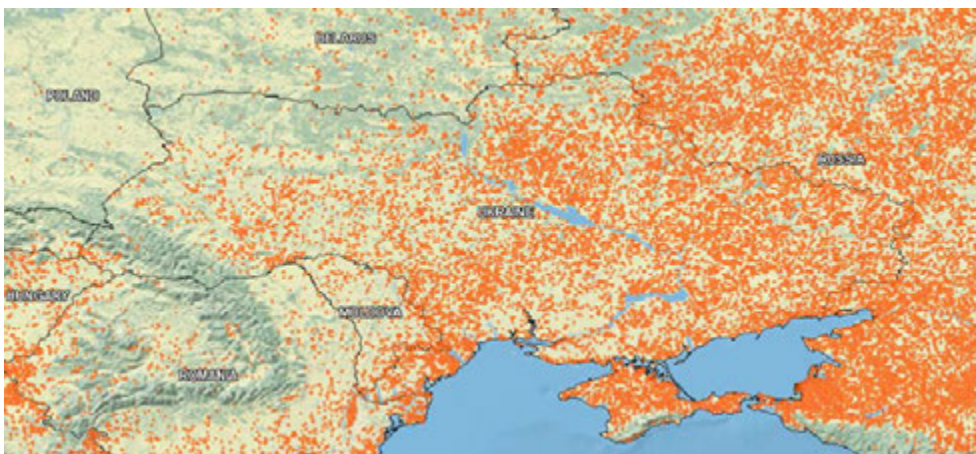


Рис. 5.22. Розподіл визначених за даними супутникового спостереження MODIS місць займання поверхні протягом 2007 р.

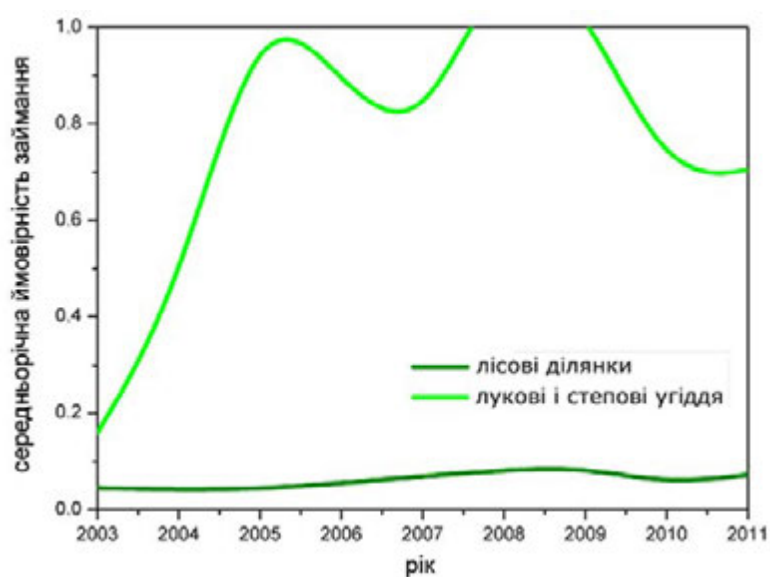


Рис. 5.23. Розрахована за даними супутникових спостережень середня ймовірність виникнення пожежі (займання) на одиницю площі для окремих типів земних покривів за період 2003–2011 рр.

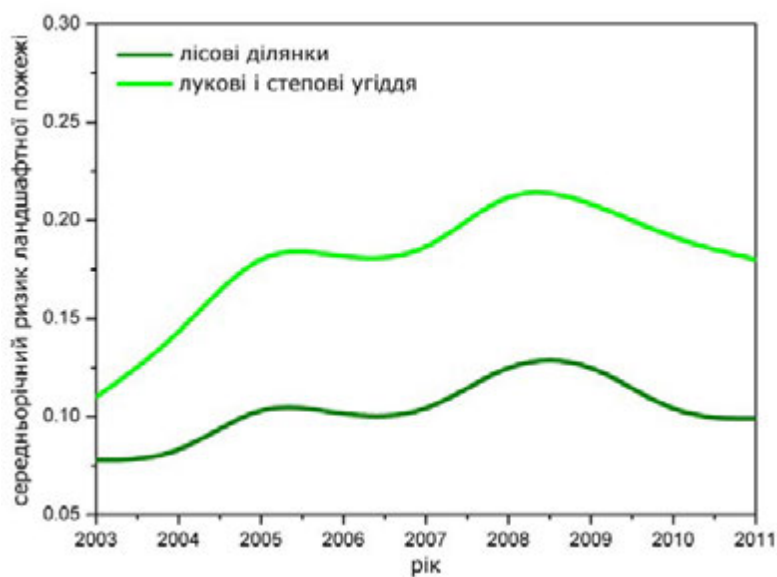


Рис. 5.24. Розрахунковий середній річний ризик ландшафтних пожеж на одиницю площі для окремих типів земних покривів за період 2003–2011 рр.

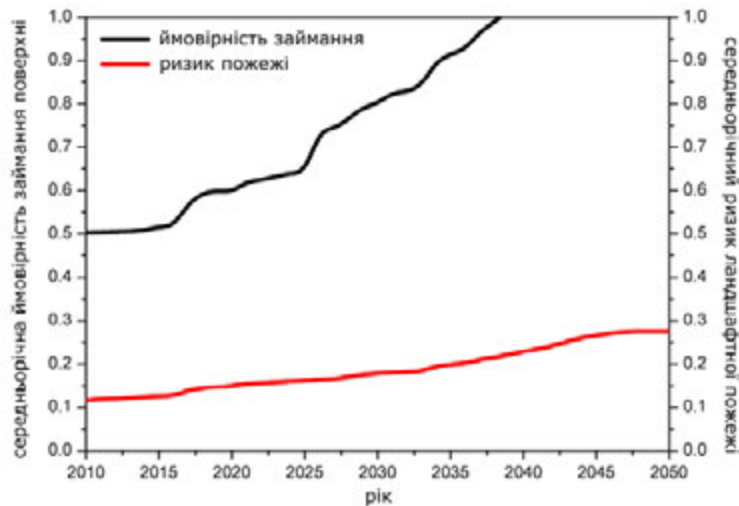


Рис. 5.25. Розподіл прогнозних показників ризиків займання і пожеж ($1\,000\text{ км}^2/\text{рік}$)

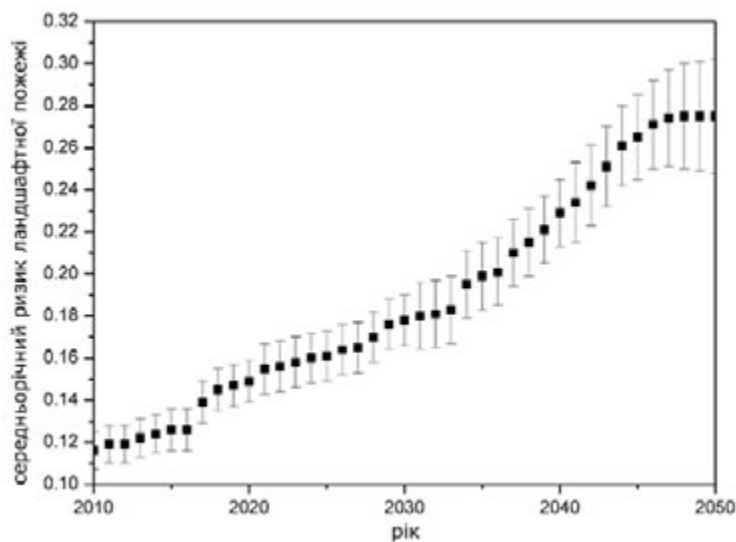


Рис. 5.26. Середньорічний прогнозований ризик ландшафтних пожеж ($1\,000\text{ км}^2/\text{рік}$)

5.2.2. Оцінка показників біологічної продуктивності ландшафтів

Для визначення ризиків, пов'язаних із змінами біологічної продуктивності рослинності, в якості базових розподілів приймалися дані про розподіли поточної продуктивності, отримані засобами ДЗЗ. Зокрема, просторові розподіли продуктивності визначалися за допомогою продуктів MOD17 та MOD15A2 за даними супутникової зйомки сенсору MODIS [11]. Базова модель MOD17 має три джерела вхідних даних. Для кожного пікселя: інформація про тип земного покриття одержується з продукту MOD12Q1; добові метеорологічні дані — з моделі DAO (Data Assimilation Office); FPAR і LAI — з продукту MOD15A2. Приклад оцінки параметрів продуктивності наведено на рис. 5.27.

За цими даними розраховувалися усереднені показники розподілів продуктивності (рис. 5.28) [9].

Інші важливі для аналізу розподіли отримано за допомогою кліматичних моделей, уточнених за регіональними даними та матеріалами ДЗЗ, відповідно до наведених вище методик.

Зокрема, дані про прогнозований вміст вуглецевих газів в атмосфері оцінювалися за допомогою сценаріїв SRES IPCC та оцінок GEA IIASA [36, 43], уточнених за даними супутникових зйомок [10, 54] та національних звітів про емісії вуглецевих газів [59]. Прогнозовані розподіли емісій, які відокремлюють інтервал найбільш очікуваних обсягів викидів за всіма даними, наведено на рис. 5.29.

Відповідно до наведеного вище алгоритму регіоналізації кліматичних моделей, було отримано розподіли очікуваних показників температури і кількості опадів, також за допомогою кліматичних моделей NCAR було одержано розподіли полів тиску, що впливають на показники евапотранспірації (як це було показано у розд. 2).

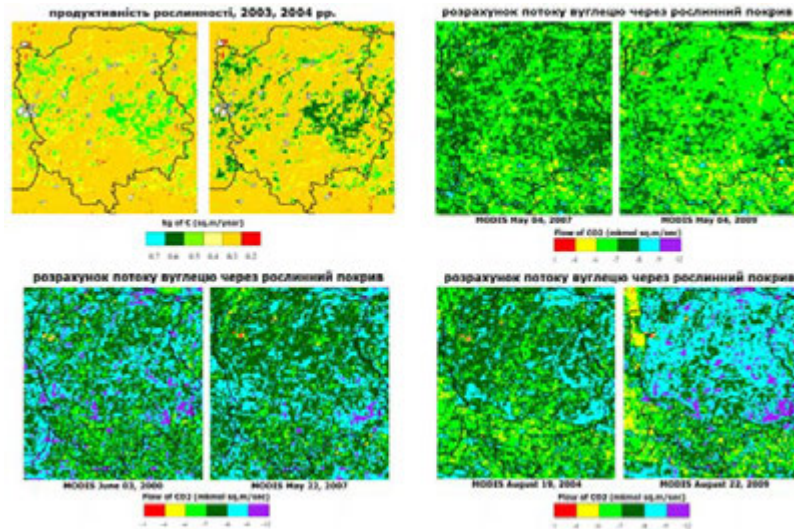


Рис. 5.27. Приклад визначення продуктивності рослинного покриву і потоків вуглецю за даними супутникових спостережень MODIS за 2000, 2007, 2009 рр. для окремих територій [9]

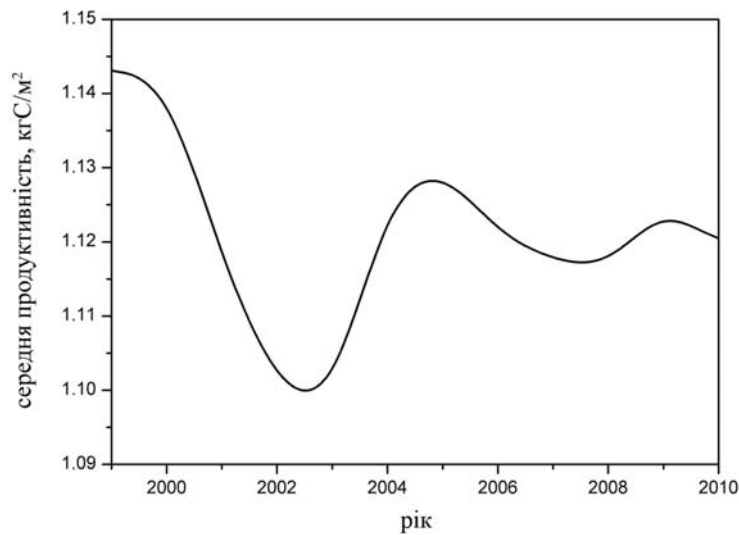


Рис. 5.28. Усереднені розподіли продуктивності рослинності за даними супутникових спостережень MODIS (продукти MOD17 та MOD15A2)

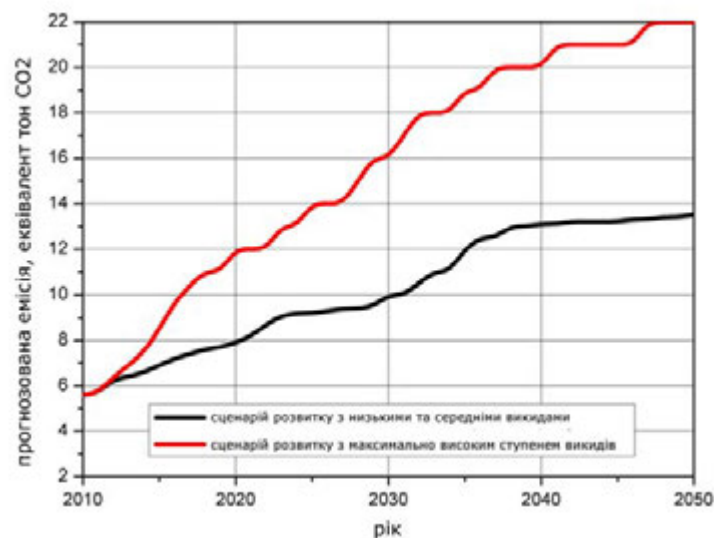


Рис. 5.29. Розрахункові сценарії викидів для України, уточнені за даними супутникових спостережень

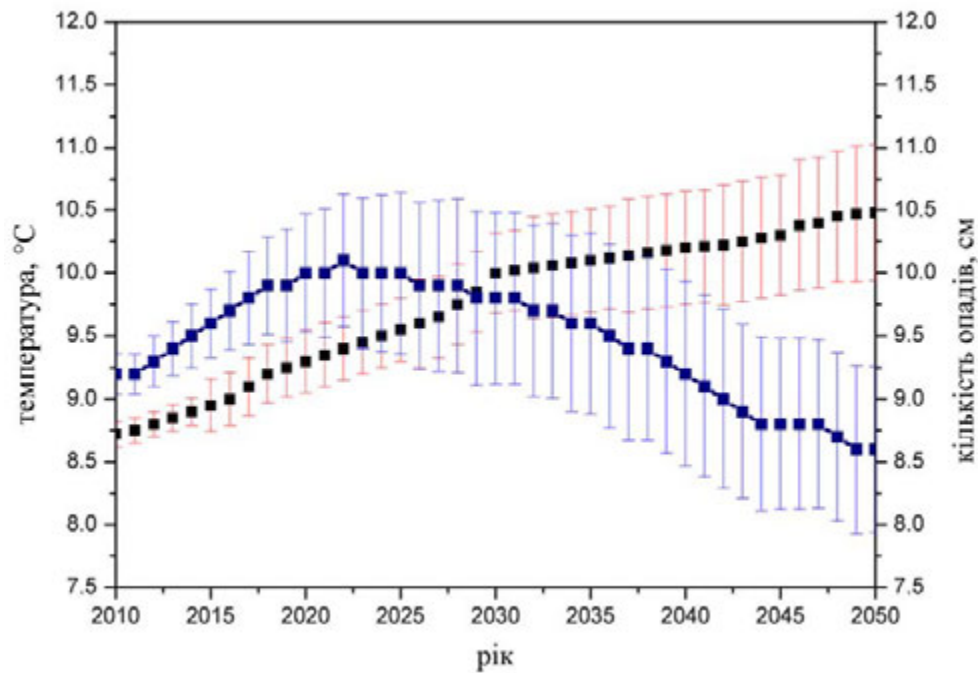


Рис. 5.30. Розрахункові сценарії змін кліматичних показників для території України за умов середніх значень викидів ПГ на період до 2050 р. [49]

Найбільш очікувані регіональні розподіли показників температури і кількості опадів наведено на рис. 5.30 [49].

Використовуючи запропонований метод непараметричних ядерних функцій, можна отримати сталі достовірні кореляції визначених показників (температури, опадів, тиску, кількості вуглецевих газів в атмосфері) із майбутніми (прогнозованими) параметрами зміни продуктивності, виходячи із наявних зареєстрованих розподілів продуктивності.

Результати розрахунків наведено на рис. 5.31–5.32 [48].

Ризики втрат біологічної продуктивності представлено як найбільш ймовірну величину зниження продуктивності на розрахунковий період по відношенню до поточного рівня (2010 р.).

Наведені приклади свідчать про можливість застосування запропонованого методу для кількісної оцінки та прогнозування просторово-часових розподілів показників ризиків, пов'язаних із негативним впливом кліматичних процесів.

Ризик втрати біопродуктивності:

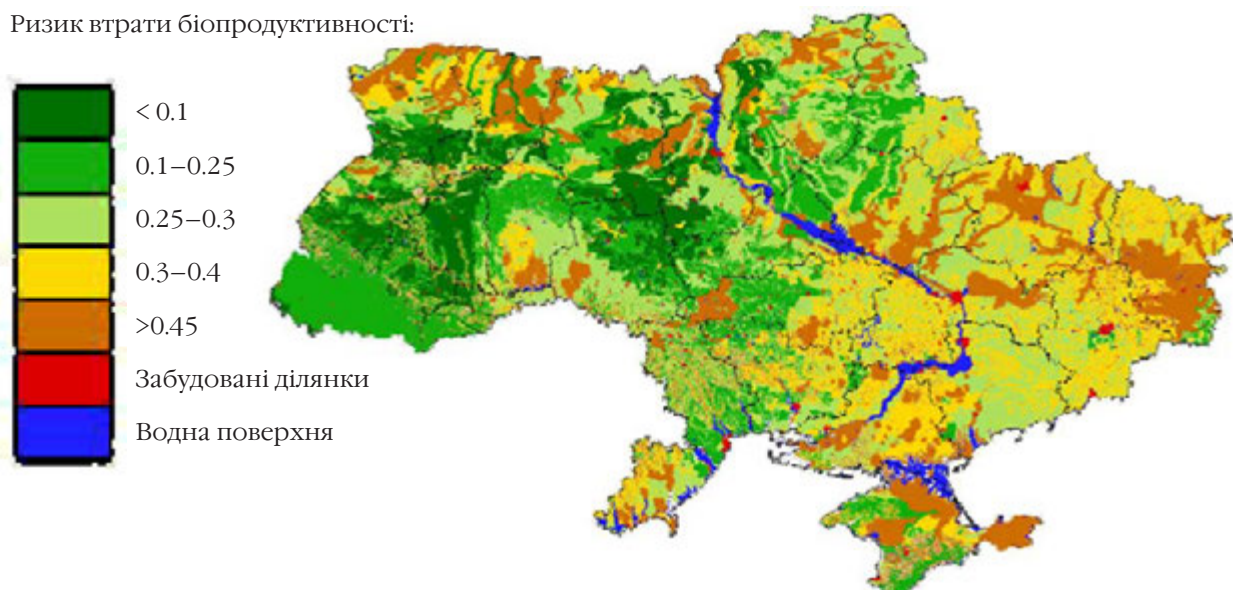


Рис. 5.31. Розрахунок змін біологічної продуктивності ландшафтів до 2025 р.

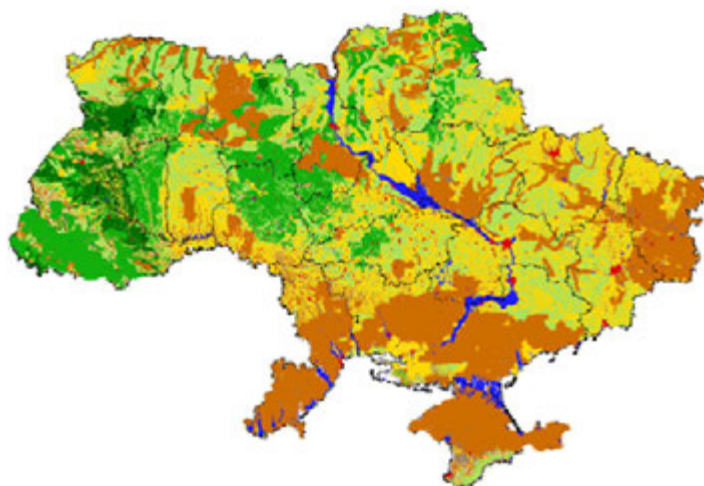


Рис. 5.32. Розрахунок змін біологічної продуктивності ландшафтів до 2050 р. Умовні позначення див. на рис. 5.31

5.2.3. Загальні засади оцінок небезпек, пов'язаних з довгостроковими змінами клімату та довкілля

В провідних наукових колах та серед експертів в основному вже не обговорюється те, чи будуть відбуватися кліматичні зміни протягом наступного століття, чи ні. Визнаною на даний час є точка зору, що незалежно від причин, які це викликали, кліматичні зміни вже відбуваються, і протягом останнього десятиріччя XX–перших років XXI ст. людство в цьому переконалося. Дослідження параметрів цих змін, а також причин, які їх викликають, викладені, зокрема, в таких ґрунтовних дослідженнях міжнародних груп експертів, як доповідь робочої групи І МГЭИК Зміна клімату, 2001 р.: Наукові аспекти; Спеціальна доповідь про сценарії викидів МГЭИК (СДСВ) [26].

Зокрема, йдеться про те, що протягом XX ст. середня глобальна приземна температура збільшилася на $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$. На підставі цього та розроблених сценаріїв зроблено висновок про те, що у порівнянні з 1990 р. середня глобальна приземна температура повітря підвищиться відповідно до оцінок, за даними різних моделей, на $1.4\text{--}5.8^\circ\text{C}$ до 2100 р., а середньоглобальний рівень моря підніметься на $0.09\text{--}0.88\text{ м}$ до 2100 р.

В цих роботах експертами застосовувалася така шкала оцінки достовірності:

- дуже висока — 95% або вище;
- висока — 67–95%;
- низька — 5–33%;
- дуже низька — 5% або менше.

Наявні дані спостережень свідчать про те, що регіональні зміни клімату, особливо підвищення температури, вже вплинули на різноманітну сукупність фізичних і біологічних систем у багатьох частинах світу. Приклади змін, що спостерігаються, такі: скорочення розмірів льодовиків, танення вічної мерзлоти, більш пізніше утворення льоду й більш ранній

льодохід на ріках і озерах, збільшення тривалості періодів дозрівання врожаїв у середніх-високих широтах, переміщення в північному напрямку та зміна висоти знаходження рослинності й пасовищ для худоби, скорочення популяцій деяких видів рослин і тварин, а також більш раннє цвітіння дерев, поява комах і кладка яєць птахами.

Дослідження, що проводяться з метою з'ясування масштабів кліматичних змін та їх проявів і наслідків для різних регіонів планети, свідчать про те, що рівень потепління буде змінюватись залежно від регіону, а також буде супроводжуватись збільшенням або зменшенням кількості опадів залежно від сукупності кількох факторів. Крім того, будуть спостерігатись зміни в мінливості клімату, а також зміни частоти й інтенсивності деяких екстремальних кліматичних явищ. Ці загальні характеристики зміни клімату вплинуть на природні та антропогенні системи.

Зростання середньої глобальної температури призведе до чистих економічних втрат у багатьох країнах, що розвиваються, за всіма дослідженими величинами потепління (низька достовірність); при цьому чим вищим буде рівень потепління, тим більшими будуть втрати (середня достовірність). На відміну від цього, зростання середньої глобальної температури на декілька градусів викликає змішане поєднання економічних плюсів та втрат у розвинутих країнах (низька достовірність); при цьому більше підвищення температури спричинить економічні втрати (середня достовірність). Прогнозований розподіл економічних наслідків такий, що він посилить нерівність між рівнями статків у розвинутих країнах та країнах, що розвиваються; при цьому нерівність буде зростати у міру прогнозованого збільшення температури (середня достовірність). В будь-якому випадку очікується, що кількість людей, які зазнають втрат, перевищить кількість тих, які виграють внаслідок зміни клімату, навіть у випадку

зростання середньої глобальної температури менш ніж на декілька градусів (низька достовірність).

Очікується, що в країнах, які розвиваються, наслідки кліматичних змін будуть найбільшими з точки зору життєвих втрат та відносного впливу на інвестування та економіку.

Такі фактори, як зміни в землекористуванні й забруднення, також впливають на фізичні й біологічні системи; при цьому в деяких конкретних випадках важко визначити реальні причини змін. Проте у сукупності спостережувані зміни в цих системах характеризуються узгодженим характером з погляду напрямку й послідовністю стосовно до різних місць або регіонів при наявності очікуваних наслідків регіональних змін за параметрами температури.

Один з головних висновків експертів полягає в тому, що головною стратегією людства відносно кліматичних змін протягом XXI ст. буде адаптація, що необхідна на всіх рівнях для доповнення діяльності щодо зм'якшення впливів на зміни клімату.

Це пов'язано з тим, що впродовж найближчих десятиліть людство відчуватиме наслідки реакції розбалансованої природної системи в планетарних масштабах, які саме і проявляються в кліматичних змінах. Незалежно від того, наскільки людство зможе скорегувати викиди в атмосферу [26] та взагалі свій вплив на природні процеси, навіть якщо вдасться повернутися до певного оптимального рівня викидів та впливів, все одно пройде достатньо тривалий період, поки планетарні системи прийдуть до нового, збалансованого стану.

Адаптація має потенціал для послаблення багатьох негативних наслідків зміни клімату й посилення сприятливих наслідків. Однак вона буде пов'язана з витратами, часом значними, й не може запобігти всім видам збитків. При цьому варто зазначити, що антропогенні й природні системи мають здатність та можливість певною мірою самостійно адаптуватися до зміни клімату. Оптимальним вважається підхід, коли запланована адаптація доповнює самостійну адаптацію.

Загалом, здатність антропогенних систем адаптуватися до зміни клімату й справлятися з нею визначається такими факторами, як рівень добробуту, технологія, освіта, інформаційне забезпечення, кваліфіковані кадри, інфраструктура, доступ до ресурсів, а також управлінські можливості.

Розвинені країни та країни, що розвиваються, мають потенціал для розширення та накопичення адаптаційних можливостей. Однак країни, які розвиваються, а особливо найменш розвинені, є найбільш вразливими щодо цього. У результаті вони мають у своєму розпорядженні менші можливості для адаптації й більшою мірою вразливі для збитків у результаті зміни клімату, так само як і більше вразливі для інших критичних ситуацій.

Висновки експертів щодо природних систем, засвідчують, що значна частина природних систем

може виявитися особливо вразливою для зміни клімату, оскільки вони мають обмежену здатність до адаптації, а деяким з цих систем може бути нанесений істотний та незворотний збиток. До найбільш вразливих природних систем відносяться, зокрема, льодовики, коралові рифи й атоли, мангрові ліси, північні і тропічні ліси, полярні й арктичні екосистеми та ін.

Значною мірою це стосується і багатьох видів живих організмів, які мешкають в природному середовищі, в звичних умовах існування. Окремі види в нових умовах можуть збільшити чисельність або сфери перебування, але зміна клімату підвищить існуючі ризики знищення деяких більш уразливих видів і значно посилить загрозу втрати біорізноманіття. Розподіл, розміри популяції, щільність популяції і поводження диких тварин відчували й будуть продовжувати відчувати прямий вплив змін у глобальному або регіональному кліматі та непрямий вплив змін рослинності.

Багато видів і популяції тварин уже перебувають у серйозній небезпеці. Очікується, що їм буде загрожувати ще більша небезпека в результаті зміни клімату. Частини існуючого середовища перебування стануть непридатними для багатьох видів, зі змінами в землекористуванні, що веде до фрагментації середовища перебування й створення перешкод для міграції видів. Без належного керування ці фактори тиску можуть призвести до того, що більшість видів, які в цей час класифікуються як такі, що перебувають в "критичній небезпеці", будуть знищені, а більшість видів, які відносяться до категорії тих, що "знаходяться в небезпеці або вразливі", стануть ще більш рідкісними й відповідно більше близькими до знищення в XXI ст.

З цього випливає, що особлива небезпека від кліматичних змін загрожує саме природним системам та тваринам, оскільки в умовах значного впливу людини на планету потенціал для адаптування в нових умовах став вкрай обмеженим. Це пояснюється тим, що переважна більшість природних ландшафтів, що є середовищем існування дикого світу, більшою або меншою мірою зазнали фрагментації внаслідок господарської діяльності людини. Це створило чимало перепон, зокрема на шляхах міграцій, та обмежило можливості переміщення видів тварин та рослинних угруповань в нові екологічні ніші природним шляхом.

Щодо антропогенних систем, то значна їх частина зазнає впливу кліматичних змін, чимала їх кількість виявиться чутливими до них, а деякі — вразливими.

До антропогенних систем, які є чутливими до зміни клімату, відносяться головним чином такі: водні ресурси; сільське господарство (особливо продовольча безпека) і лісове господарство; прибережні зони або морські системи (рибні промисли); людські поселення, енергетика та промисловість;

окремі види економічної діяльності, зокрема страхування та інші фінансові послуги; здоров'я популяції. Вразливість цих систем змінюється залежно від географічного розташування, часу, а також соціальних, економічних і екологічних умов. При цьому важливо зазначити, що впливи змін та їх наслідки матимуть інколи істотні відмінності для певної території, в залежності від того, наскільки зміняться окремі показники (температура, вологість, кількість та структура опадів,). Наприклад, згідно із сценаріями, коли температура підвищиться до певного рівня, то в умовах середніх широт зросте врожайність ряду сільськогосподарських культур. Якщо ж температура збільшиться вище за певний рівень, то оптимальний діапазон температури/вологості буде пройдено і відбудеться погіршення умов для ряду культур. Але незалежно від того, на менший чи більший рівень збільшиться температура, в загальносвітових масштабах відбудеться зниження продуктивності сільськогосподарських культур, особливо в країнах, що розвиваються, і, відповідно, погіршиться продовольча безпека.

Загалом, прогнозовані несприятливі наслідки, засновані на моделях та інших дослідженнях, включають [26]:

- загальне потенційне зниження врожайності сільськогосподарських культур у більшості тропічних і субтропічних регіонів майже для всіх випадків прогнозованого підвищення температури;
- загальне потенційне зниження (з деякими коливаннями) врожайності сільськогосподарських культур у більшості регіонів середніх широт у випадку підвищення середньорічної температури більш ніж на декілька °C;
- наявність менших обсягів водних ресурсів для населення в багатьох регіонах з обмеженими водними ресурсами, особливо в субтропіках;
- збільшення числа людей, уразливих для трансмісійних (наприклад малярія) захворювань і тих, що передаються через воду (наприклад холера), підвищення смертності від теплового стресу;
- повсюдне збільшення ризику повеней для багатьох людських поселень (десятки мільйонів мешканців поселень, охоплених дослідженнями) внаслідок зміни структури опадів, зокрема збільшення як сильних опадів, так і підйому рівня моря;
- підвищення попиту на енергію для кліматичної адаптації приміщень (наприклад, охолодження) через більше високі літні температури.

До прогнозованих позитивних наслідків, заснованих на моделях та інших дослідженнях, належать такі:

- потенційне збільшення врожайності сільськогосподарських культур у деяких регіонах середніх широт внаслідок незначного зростання температури;
- потенційне збільшення глобальних поставок деревини з раціонально використовуваних лісів, за

умови завчасного впровадження методів раціонального застосування лісових ресурсів;

- наявність більших обсягів водних ресурсів для населення в деяких регіонах з обмеженими водними ресурсами — наприклад, у деяких частинах Південно-Східної Азії;
- зменшення показника смертності в зимовий період у середніх і високих широтах;
- зниження попиту на енергію для обігріву приміщень через більш високі зимові температури в традиційно холодних регіонах.

Прогнозується, що людство зазнає посиленого впливу екстремальних природних кліматичних явищ, таких як посухи, повені, хвилі тепла, сніжні обвали й вітрові шторми. Насамперед постраждають регіони, які і раніше не відрізнялися комфортними умовами проживання, сільського господарства та забезпеченістю водними ресурсами. Особливо втрати (економічні та людські) зростатимуть через поєднання значного демографічного навантаження в країнах, що розвиваються, на території, які передусім зазнають посиленого впливу катастрофічних природних явищ, особливо повеней в долинах та дельтах річок, штормів, ураганів та ін. Це буде викликане як загальним підвищенням кількості опадів (що збільшить частоту та силу повеней), так і посиленням атмосферної діяльності, що спричиняє більшу кількість ураганів, особливо тропічних штормів. Дещо меншою мірою такі території зазнають негативних наслідків підйому рівня моря, але це стосується лише найближчого століття, оскільки в глобальному прогнозі очікується значне зростання рівня моря протягом наступних 1 000 років.

На противагу, в майбутньому прогнозується зменшення частоти та масштабів явищ, пов'язаних із екстремально низькою температурою, таких як холодні періоди, що буде мати як позитивні, так і негативні наслідки.

Прогнозовані зміни клімату протягом XXI ст. характеризуються потенційною ймовірністю того, що вони викличуть у майбутньому широкомасштабні й, можливо, незворотні зміни в системах Землі, які призведуть до наслідків на континентальному й глобальному рівнях. Подібні можливості значною мірою залежать від сценарію клімату, а вся сукупність імовірних сценаріїв ще не одержала своєї оцінки [26].

Якщо ці зміни у системах Землі відбудуться, то їх наслідки будуть мати широко розповсюджений і сталий характер. У результаті руйнування Західно-антарктичного льодового щита або танення льодового щита в Гренландії може відбутися підйом глобального рівня моря до 3 м за наступні 1000 років, затоплення багатьох островів і великих прибережних районів. Залежно від швидкості руйнування льоду темпи й масштаби підйому рівня моря можуть значно перевищити здатність антропогенних і природних систем до адаптації. Викликані потеплінням

викиди наземного вуглецю з районів вічної мерзлоти та метану з гідратів прибережних наносів ще більше підвищать концентрації ПГ в атмосфері й активізують зміну клімату.

Щодо питань водної безпеки, то вплив зміни клімату на поповнення стоку й підземних вод змінюється залежно від регіону, виду сценарію та значною мірою відповідає прогнозованим змінам опадів. Послідовна перспективна оцінка на основі більшості кліматичних сценаріїв показує збільшення щорічного середнього стоку у високих широтах і Південно-Східній Азії та зменшення — в Центральній Азії, у районі, що прилягає до Середземного моря, південній частині Африки й Австралії.

Прогнозується прискорення темпів відступання більшості льодовиків, а багато дрібних льодовиків можуть зникнути.

Близько 1.7 млрд осіб живе в країнах, що зазнають нестачі води (зумовлено тим, що використовується понад 20% своїх поновлюваних джерел води — звичайно показник нестачі води). Прогнозується збільшення цієї кількості до приблизно 5 млрд до 2025 р. залежно від темпів росту населення. Прогнозована зміна клімату може ще більше зменшити стік і поповнення ґрунтових вод у багатьох з цих країн, що зазнають нестачу води (наприклад, у Центральній Азії, південній частині Африки й країнах, що прилягають до Середземного моря), а в деяких інших районах — може його збільшити.

Думка експертів стосовно водної безпеки зводиться до впровадження раціональних стратегій водокористування в якомога більшій кількості країн, що дозволить в основному зменшити або пом'якшити негативні наслідки змін кількості опадів та якості вод. Крім того, враховуючи прогнозовані зміни земних покривів та зміни у функціонуванні екосистем, важливим стає охорона та контроль динаміки прісноводних екосистем, прибережних екотонів, природних ландшафтів у заплавах, які мають значний вплив на якість регіональних водних ресурсів [39].

Певні проблеми кліматичні зміни створюють і для здоров'я людини. Цей вплив проявлятиметься як у безпосередній дії температур та опадів і підвищеній вологості, так і в похідному від цих умов зростанні кількості інфекційних хвороб. Адже відомо, що багато які інфекційні захворювання (трансмісійні, а також ті, що передаються через продукти і воду) відчутно реагують на зміни кліматичних умов. Очікується, що відповідно до сценаріїв зміни клімату відбудеться явне розширення географічних масштабів потенційного поширення малярії й лихоманки Денге — двох трансмісійних інфекційних захворювань, від кожного з яких у наш час страждає здоров'я 40–50% світового населення. У рамках їхніх нинішніх меж ці й багато інших інфекційних захворювань будуть характеризуватися тенденцією більшої поширеності й сезонності, хоча поширеність деяких інфекційних захворювань зменшиться на регіональному рівні.

Прогнозована зміна клімату буде супроводжуватися посиленням хвиль тепла, що часто підсилюються зростаючою вологістю й забрудненням повітря в містах, які є причиною збільшення смертності, пов'язаної з жарою, і кількістю захворювань. Це питання потребує подальшого вивчення [70].

У цілому, негативні наслідки для здоров'я будуть найбільшими для уразливих груп населення з більш низьким рівнем доходу, головним чином у тропічних і субтропічних країнах. Політика адаптації приведе, як правило, до ослаблення цих наслідків.

Для людських поселень зміна клімату характеризується одним із трьох основних негативних наслідків:

1. Економічні сектори, які підтримують поселення, страждають через зміни в області продуктивності ресурсів або змін ринкового попиту на вироблені ними товари й послуги.
2. Можуть безпосередньо постраждати певні елементи фізичної інфраструктури (включаючи системи передачі й розподілу енергії), будинки, міські служби (включаючи транспортні системи), а також конкретні галузі (такі, як сільське господарство, туризм і будівництво).
3. Населення може безпосередньо постраждати в результаті екстремальних метеорологічних явищ, змін у стані здоров'я або неконтрольованої міграції.

Швидка урбанізація в низинних прибережних районах як країн, що розвиваються, так і розвинених країн веде до значного росту щільності населення й впливу створених працями людини цінностей таким прибережним кліматичним екстремальним явищам, як тропічні циклони. Згідно із заснованими на моделях прогнозами, середньорічна кількість людей, які стануть жертвами повеней у результаті прибережних штормових нагонів, збільшиться в кілька разів (від 75 до 200 млн чоловік залежно від адаптаційних способів реагування) до 80-х років XXI ст. відповідно до середніх сценаріїв підйому рівня моря на 40 см у порівнянні зі сценаріями нульового підйому рівня моря. Відповідно до проведених оцінок, потенційний збиток інфраструктурі прибережних районів, викликаний підйомом рівня моря, складе десятки мільярдів доларів для окремих країн, наприклад, Єгипту, Польщі, Нідерландів, Німеччини, Данії, В'єтнаму та ін.

Поселення, що характеризуються невеликою розмаїтістю економічної діяльності й одержанням значної частки доходу від чутливих до клімату галузей первинних ресурсів (сільське господарство, лісове господарство й рибальство), є більш чутливими в порівнянні з більш диверсифікованими поселеннями.

В сфері страхування збитків останні десятиліття спостерігається швидке збільшення витрат, пов'язаних із звичайними та екстремальними явищами погоди. Глобальні економічні втрати в результаті

катастрофічних подій зросли в 10.3 раза — з 3.9 млрд. доларів США в рік у 50-ті роки до 40 мільярдів доларів США в рік у 90-ті роки (усе в доларах США за цінами 1999 р. без коректування відповідно до паритету купівельної спроможності), при цьому приблизно 1/4 втрат припадає на частку країн, що розвиваються.

Вартість збитку від метеорологічних явищ швидко зросла, незважаючи на значні й все більші зусилля по зміцненню інфраструктури й підвищенню готовності до стихійних лих.

Зміна клімату й прогнозовані зміни в пов'язаних з погодою подіях, що, як вважається, пояснюються зміною клімату, підвищують страхову невизначеність при оцінці ризику. Подібні події призведуть до підвищувальної тенденції страхових премій і/або можуть стати причиною перекласифікації певних ризиків, з метою визнання їх такими, що не підлягають страхуванню з наступним скасуванням страхового покриття.

Найзначніші наслідки зміни клімату очікуються в країнах, що розвиваються, особливо в країнах, які залежать від первинного виробництва як основного джерела доходу [74].

5.2.4. Експертні оцінки і рекомендації з управління регіональними ризиками, пов'язаними із змінами клімату в Україні

На сьогодні існує широкий спектр експертних оцінок тенденцій різномасштабних змін та їхніх наслідків на регіональному рівні для багатьох регіонів світу [26, 36, 38, 39, 69, 70].

Для регіонів України, насамперед це стосується досліджуваного регіону Українського Полісся, оцінювані ризики, пов'язані із прогнозованими змінами, визначаються вразливістю регіональних соціально-економічних і природних систем. Крім того, на ризики впливають соціально-політичні і соціально-екологічні тенденції, а також ефективність прийнятих управлінських рішень.

Необхідно зазначити, що при схожих показниках впливів, які визначаються перебігом глобальних змін, вразливість регіональних природних і антропогенних систем є значно вищою порівняно із європейськими регіонами.

Для досліджуваного регіону, у порівнянні з середніми показниками центральноєвропейського регіону, наслідки кліматичних змін у загальних рисах зводяться до такого:

- Адаптаційний потенціал антропогенних систем є невисоким, і за окремими показниками в останні роки спостерігається тенденція до його зниження. Це визначає високі показники ризиків при однакових впливах, порівняно із європейськими регіонами. При цьому інтегральна вразливість регіонів південної частини Європи та європейської частини Арктики є схожою з дослі-

джувані регіонами України (хоча характер і розподіл впливів там істотно відрізняються).

- Літній стік, наявність водних ресурсів і зволоженість ґрунту зменшаться в наступні 50 років, передусім у південній частині Європи і, частково, в південно-східних частинах території України, у результаті чого збільшаться розходження між північчю й півднем. Це відіб'ється на показниках водного балансу, розподілі продовольства і продуктивності екосистем.
- До кінця ХХІ ст. може зникнути половина альпійських льодовиків і великі райони вічної мерзлоти (середня вірогідність), що призведе до значних змін у водному балансі та збільшить загрозу відповідним екосистемам. Це спричинить зміну стоку річок, в тому числі тих, що протікають територією України, а також додаткові навантаження на транскордонні річкові басейни. Слід враховувати прямі і непрямі впливи цих процесів на басейни річок Дунай, Тиса, Західний Буг та Прип'ять.
- На більшій частині Європи, в тому числі в Україні, зросте ризик річкових повеней (середня-висока вірогідність); у прибережних районах ризик повеней, ерозії й втрати сильно зволених земель істотно збільшаться. Слід прогнозувати значні втрати для інфраструктури, комунального і сільського господарства, туризму, природного середовища.
- Будуть спостерігатися деякі позитивні наслідки для окремих видів сільськогосподарських культур у північно-західних регіонах України, в умовах загальних тенденцій для цього європейського регіону (середня вірогідність). При цьому, однак, можливість скористатися цими позитивними наслідками залежить від своєчасного застосування адаптованих аграрних технологій, тобто від адаптаційного потенціалу, який в нашому випадку об'єктивно низький. Також можливе часткове збільшення сільськогосподарської продуктивності в центральних регіонах України в умовах загальних тенденцій в першій половині століття (середня вірогідність). Згадані адаптаційні обмеження залишаються в силі.
- Відбудеться зсув біотичних зон у більш висотному і північному напрямках. Загибель важливих видів створить загрозу для деяких видів (висока вірогідність).
- Більш високі температури й хвилі тепла можуть змінити традиційні літні туристичні маршрути, а менш надійні умови випадання снігу можуть негативно позначитися на зимовому туризмі (середня вірогідність).

Це вимагає своєчасного застосування таких заходів:

- дослідження адаптаційного потенціалу на регіональному (насамперед) рівні та оцінки змін на глобальному рівні;
- використання сценаріїв змін для оптимізації еко-

логічної політики (визначення та охорона ландшафтів з найбільшою екологічною ємністю як бази майбутньої адаптації природних систем);

- визначення нових стратегій господарювання, що забезпечить виживання в нових умовах (зокрема, стратегії сталого використання водних ресурсів, зменшення вразливості аграрного сектору через оптимізацію земельних ресурсів).

Разом з водними ресурсами до переліку найбільш дефіцитних природних ресурсів майбутнього увійдуть ландшафтні утворення з найбільшою екологічною ємністю, тобто такі ландшафти, до складу яких входять біохімічно активні компоненти. Це, зокрема, прісноводні екосистеми з високим біорізноманіттям, болота, заплавні екотони, річкові дельти, гірські території. Ці ландшафти відіграватимуть значну роль в забезпеченні майбутньої екологічної рівноваги та в постачанні суспільства ресурсами. Їх стан визначає адаптаційний ресурс на регіональному рівні.

Основними загрозами для цих ландшафтних утворень, з урахуванням регіональних тенденцій розвитку глобальних процесів, є такі:

- техногенне забруднення водних об'єктів та донних відкладів;
- неконтрольоване (але іноді спровоковане людиною) поширення невластивих видів-загарбників (передусім рослинних видів);
- антропогенний вплив через неоптимальне з екологічної точки зору сільське господарювання (стратегічно невиражене управління водними ресурсами малих річок, забруднення агрохімікатами та продуктами тваринництва тощо), надлишкові будівельні засоби зменшення наслідків природних катастроф, неоптимальне житлове будівництво в екологічно чутливих зонах.

Таким чином, важливою стає задача визначення регіональних і локальних ризиків, пов'язаних з глобальними змінами клімату та довкілля, тобто оцінка ймовірності настання небажаних наслідків розвитку небезпечних процесів наперед у середньотривалі перспективах.

Рекомендації (з урахуванням національних та міжнародних програм) з мінімізації негативних впливів змін клімату і довкілля на сталий розвиток регіонів

У "П'ятому національному повідомленні України з питань клімату" 2009 року [15] зазначено, що на даний час в Україні заходи щодо адаптації до змін клімату знаходяться на стадії розроблення. А на регіональному рівні цих заходів, особливо координуваних з національною стратегією, не існує взагалі. Саме це є найсерйознішим викликом для безпеки держави і суспільства.

Для формування національної політики з пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації до неї в Україні проводяться комплексні дослідження, на-

правлені на визначення позитивних і негативних наслідків глобального потепління. Ці дослідження стосуються різних сфер господарської діяльності та природного середовища як в цілому для країни, так і в регіональному аспекті.

Починаючи з 2000 р. НАН України разом з Мінприроди та іншими центральними органами виконавчої влади готувала різноманітні аналітичні матеріали, зокрема, новий Національний план заходів з реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (2008). В Національному плані заходів було передбачено протягом 2010 р. розробити Національний план заходів з адаптації до зміни клімату, а у 2011 р. — відповідні регіональні плани в усіх областях України з урахуванням особливостей кожного регіону.

В розроблених документах визначаються певні кроки уряду у напрямі адаптації та пом'якшення наслідків зміни клімату. Так, було здійснено оцінку впровадження необхідних адаптаційних заходів для біорізноманіття. Законом України (від 21.09.2000 № 1989-III) була затверджена Загальнодержавна програма формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 рр. Основною метою Програми є збільшення площі земель з природними ландшафтами до рівня, достатнього для збереження їх різноманіття, близького до природного стану, та формування територіально єдиної системи, побудованої відповідно до забезпечення можливості природних шляхів міграції та поширення видів рослин і тварин, яка б забезпечувала збереження природних екосистем, видів рослинного і тваринного світу та їх популяцій. Крім того, Програма має сприяти збалансованому та невиснажливому використанню біологічних ресурсів у господарській діяльності. На виконання зазначеної Програми здійснюються відповідні заходи. На жаль, ефективність їх не є задовільною.

За підтримки НАН України, Міністерства освіти і науки України, а також Мінприроди виконуються науково-дослідні роботи за такими напрямками: розробка проектів створення природоохоронних територій, відведення земель для організації територій і об'єктів природно-заповідного фонду, ведення державного кадастру природно-заповідного фонду; збереження популяцій видів рослин і тварин, оцінки змін клімату на регіональному рівні, оцінки ризиків, пов'язаних із прогнозованими змінами клімату і довкілля тощо. Результати робіт дозволяють зробити кілька важливих висновків і надати окремі рекомендації.

Рекомендації і висновки в галузі природної безпеки

В умовах прогнозованих кліматичних змін загроза ескалації впливів надзвичайних ситуацій зростає.

При цьому спостерігається певна регіональна диференціація загроз, що зумовлена фізико-географічним різноманіттям, варіаціями антропогенного впливу і популяційного навантаження.

Заходи з адаптації мають базуватися на показниках ризиків, тобто врахувати соціально-економічні параметри регіону, а не середні показники кількості подій чи втрат [47].

Заходи з управління безпекою мають ґрунтуватися на координованих стратегіях з управління вразливістю всіма компонентами безпеки — продовольчих, водних і енергетичних ресурсів, а також враховувати екологічну складову.

Запропоновані моделі змін дають підстави прогнозувати посилення циклонічної активності, збільшення кількості опадів в першій третині XXI ст. з поступовим зменшенням їх кількості надалі. Це означатиме зростання вірогідності смерчів, ураганів, повеней та підтоплень в регіоні, а ближче до середини століття — істотне збільшення кількості, частоти й інтенсивності посух і ландшафтних пожеж.

Зважаючи на високий рівень вразливості соціально-економічної системи, можна прогнозувати подальше зростання збитків, а також, враховуючи поточні тенденції, збільшення кількості жертв і постраждалих.

Беручи до уваги прогнозовану динаміку біологічної продуктивності ландшафтів і поточні показники розвитку сільського господарства, можна стверджувати, що ця галузь має високу вразливість щодо прогнозованих змін. Хоча при цьому адаптаційний потенціал є високим. Питання полягає у застосуванні стійких по відношенню до наборів можливих сценаріїв управлінських стратегій [56]. Зокрема, при плануванні заходів щодо зменшення збитків і управління безпекою, слід звернути увагу на координацію зусиль з управлінням водними ресурсами (зокрема, забезпеченням доступу до водних ресурсів всім агентам сільськогосподарського виробництва), і розвиток інфраструктури, зокрема доріг і мостів.

Крім того, беручи до уваги стан комунального господарства та інженерних мереж, окремо слід зазначити, що низькоякісне житло збільшує кількість людських жертв при надзвичайних ситуаціях. Ця проблема є дуже гострою для міст регіону, більшість з яких мають значну кількість старих будинків. Тому стратегії зменшення збитків мають бути узгодженими з модернізацією технологічних мереж і житлового господарства.

Рекомендації і висновки в галузі продовольчої безпеки

Відповідно до прогнозованих змін та експертних висновків Всесвітнього Банку (ВБ), можна зазначити, що поряд із негативними наслідками від зміни клімату, наступні десятиліття пропонують певну

низку можливостей для країн Східної Європи і Центральної Азії.

Зокрема, виходячи із розрахунків, можна зауважити, що північно-західна частина України могла б скористатися кращими умовами для сільського господарства, які складаються через підвищення температури і поточне незменшення кількості опадів. Але за існуючих природних умов, а також зумовлених структурою ринку пануючих агротехнологій, слід констатувати, що регіон поки що неспроможний компенсувати розрив у рівні продуктивності з основними виробниками продовольства або швидко реагувати на зміни цін на продукцію рослинництва. Це не додає регіональним аграрним осередкам спроможності адаптуватися до зміни клімату та отримувати вигоди від цієї зміни.

З цієї точки зору створення єдиного продовольчого чи окремого “зернового Євразійського пулу” не є доцільним, оскільки сукупна вразливість аграрних секторів країн буде перевищувати незалежні показники окремих країн на світовому продовольчому ринку.

Розрахунки, узгоджені із розрахунками частоти й інтенсивності надзвичайних ситуацій, показують, що відповідно до зміни основних кліматичних показників змінюються умови для вирощування сільськогосподарських рослин; зокрема, на майбутнє необхідна підготовка стратегії реагування на різномасштабні загрозливі метеорологічні явища, наприклад посухи. Ця стратегія може бути адаптована до конкретних потреб кожного регіону і давати чітке уявлення про можливості використання метеорологічної і гідрологічної інформації для різних потенційних застосувань в галузі управління і організації заходів з підготовки до посухи конкретних соціальних, економічних і фінансових структур регіону.

Необхідно зауважити, що розробка стратегій адаптації сільськогосподарського виробництва до зміни і коливань клімату повинна здійснюватись за трьома основними напрямками — методологічним, технологічним та економічним [26].

Виробництво продовольства слід узгоджувати з активізацією зусиль зі збереження видів та екосистем. Природоохоронні території відіграють значну роль у відтворенні ресурсу продуктивності ландшафтів, в тому числі і земель, що знаходяться під сільськогосподарським використанням. Зараз природоохоронні території займають близько 12% суходолу, але дуже малу частину океану та прісноводних екосистем [39]. Таким чином, вони не можуть бути єдиним засобом збереження біорізноманіття. Міграцію видів могло би полегшити створення фермерами екологічних сільськогосподарських ландшафтів із мозаїкою оброблюваної землі та природного середовища.

Забезпечення продовольчої безпеки в нашому

регіоні, зважаючи на традиційно високі показники ризиків і низьку продуктивність, має базуватися на використанні сталих по відношенню до всіх типів можливих сценаріїв змін стратегій землекористування. Надійні (робастні) стратегії можуть базуватися навіть на таких простих елементах, як, наприклад, вибір сортів насіння, які добре витримують різні кліматичні умови [56].

Рекомендації в галузі соціальної і соціо-екологічної безпеки

Загальна ситуація з соціальною безпекою зазвичай розглядається для європейських регіонів в контексті проблеми міграції. Для нашого регіону ця проблема не вважається гострою, за винятком проблеми внутрішніх переміщених осіб, а також незначних потоків мігрантів з країн Азії в країни Західної Європи.

Зважаючи на існуючий досвід контролю проблем безпеки, пов'язаних із динамікою міграційних потоків, можна скористатися порадами ВБ, які надаються в роботі "Адаптація до кліматичних змін в Європі та Центральній Азії". Адаптаційні заходи для вирішення проблем, пов'язаних із міграцією можуть включати таке [70]:

- контроль епідемічної безпеки через оптимізацію мережі лабораторій для виявлення раніше невідомих хвороб, а також моніторингу епідемічної ситуації, зокрема, контролю відомих загроз на кшталт малярії, туберкульозу тощо;
- розробка на національному рівні і створення регіональних мереж просвітницьких кампаній, які допомагають іммігрантам отримувати доступ до медичного обслуговування;
- зміцнення контролю і спостереження з боку центральних і регіональних органів влади за діяльністю, що має відношення до збереження і переміщення біологічно небезпечних матеріалів, епідемічного контролю, планування санітарно-гігієнічних заходів [68];
- посилення контролю за санітарно-гігієнічними заходами, насамперед, контролю за якістю їжі і води, за програмами вакцинації та медичної освіти;
- розробка методик оцінювання біологічного ризику територій на регіональному і національному рівнях, застосування нових методів збору й обробки інформації та прийняття рішень, створення карт із зонами підвищеного ризику [33];
- вдосконалення інформаційної політики з боку медичних установ щодо іммігрантів про доступні медичні послуги, посилення міжнародної, міжгалузевої і міждисциплінарної координації з метою зниження ризиків і підвищення повноти інформації.

Крім того, важливим питанням соціально-екологічної безпеки є проблема впливу зміни клімату на здоров'я людини і стан регіональної популяції [68].

В Україні взагалі і в її північно-західних регіонах зокрема можна прогнозувати підвищену вразливість до явищ, спричинених змінами клімату — передусім теплових хвиль і хвиль холоду.

Щоб підвищити інтегральні показники стійкості людського здоров'я до підвищення температури та інших прямих і непрямих впливів на здоров'я людини, необхідно системно вживати сукупність заходів, таких як перехід на екологічно чисті джерела енергії, створення сприятливих умов для безпечного громадського транспорту та фізичної активності, вибір більш раціонального в екологічному відношенні харчування. Це, разом із заходами безпеки в особливо небезпечні періоди, забезпечить переваги як окремим людям, так і популяції в цілому з точки зору укріплення здоров'я і зменшення вразливості.

До основних заходів щодо охорони здоров'я відносяться укріплення систем охорони здоров'я, а також механізмів раннього попередження та готовності до катастроф, підвищення інформованості суспільства та внесення змін у законодавство, що стосуються будинків та споруд (для захисту людей від холоду та жару в приміщеннях).

При проведенні конкретних заходів необхідно забезпечити їх орієнтацію на найбільш вразливі групи населення. Зокрема, найбільшого ризику негативного впливу зміни клімату зазнають діти, що пояснюється як продовжувачим розвитком їхнього організму, так і тим, що вони будуть піддаватися таким впливам найбільший період часу [68].

Рекомендації в галузі екологічної безпеки

Прогнози змін клімату і довкілля, зокрема розрахунки біологічної продуктивності, підкріплені поточними спостереженнями, показують, що кліматичні зміни ведуть до змін ареалів розповсюдження рослинних угруповань, проникнення на територію інтрузивних видів, ставлять під загрозу зникнення окремих видів, що є чутливими до змін довкілля.

Переважає більшість експертів, зокрема, вчені, які були залучені до дослідження ВБ [69], пропонують:

- створити території, які будуть охоронятися безпосередньо ті види, тиск на які підтримуватиме адаптацію інших видів та екосистем;
- створити межі, що дозволять природним системам адаптуватися самостійно, наскільки це можливо в умовах зміни клімату.

Кращим підходом тут є створення мережі охоронних територій, екранованих буферних зон та забезпечення різноманітних міграційних коридорів.

Мінімізація впливу на екосистеми, що пов'язані зі зміною клімату, відповідно до прогнозованих величин впливів, включає:

- виявлення екосистем, видів і процесів, особливо чутливих до зміни клімату;

- розробка локальних заходів із захисту видів та середовища проживання, а також регіональних екосистем;
- підвищення ефективності управління та моніторингу на регіональному та локальному рівнях;
- створення мережі охоронних територій для забезпечення більш надійного захисту видів та збереження біорізноманіття і функцій великих екосистем;
- розробка системних заходів з суспільної освіти і зміни способу життя: створення позитивної мотивації для збереження довкілля;
- розробка і впровадження різнорівневих стратегій довгострокового спостереження екологічних мереж з метою виявлення кліматичних впливів і наслідків глобальних змін на регіональному рівні;
- розробка стратегій і планів дій на рівні конкретних фізико-географічних географічних районів, галузей і відомств, в тому числі правового та економічного обґрунтування адаптаційних заходів;
- мінімізація забруднень, контроль інтрузивних видів та мінімізація впливів від нераціональних змін землекористування та туризму.

Рекомендації в галузі соціально-економічної безпеки

Щодо покращення умов в житлово-комунальному секторі, необхідно зробити наголос на пріоритетність розробки планів та мобілізації ресурсів для робіт з модернізації [36]. Модернізація повинна спиратися на сталі технології для забезпечення якості життя і збереження енергетичних ресурсів, а також мати витриваліший опір до екстремальних погодних явищ. Крім того, слід звернути увагу на питання скорочення викидів ПГ завдяки використанню нових матеріалів і енергозберігаючих систем, допомагаючи у такий спосіб зменшити витрати споживачів [69].

Очевидно, що модернізація у широких масштабах є досить вартісною, але основні аспекти модернізації, що відбуваються в країнах Центральної Європи та Центральної Азії, мають зосередити увагу саме на заходах щодо раціонального використання енергії та енергозбереження. До них відносяться теплоізоляції, заміна вікон та модернізація систем опалення. На додаток до цих заходів проходять випробування нові види дахів, які мають енергозберігаючі й екологічні властивості, в якості додаткового засобу для поліпшення якості житлових приміщень, а також спосіб керування коливаннями кількості опадів.

Також можна окреслити перелік загальних адаптаційних заходів для сектору транспорту, туризму та рекреації. Зокрема, секторальні рекомендації з покращення соціально-економічних показників в умовах зміни клімату [74].

З точки зору регіональної транспортної безпеки і сталого розвитку в умовах прогнозованих змін

клімату і довкілля, можна визначити, що більш економічний та екологічно чистий транспорт є ключовим елементом низьковуглецевої економіки. Більш раціональне планування міст дозволяє скоротити потребу в переміщенні на великі відстані між містами проживання, роботи та відпочинку. Перехід від приватних автомобілів до громадського транспорту дозволяє зменшити викиди вуглецю та запобігти заторам на дорогах.

Таким чином, основними засобами стабілізації і зниження температури [74] є такі: стабілізація CO₂, пов'язана із технологічними і структурними змінами економіки і життєвого укладу (консервація вуглецю, біоенергетика тощо); відмова від викопного палива; енергозбереження й енергоефективність та ін. Важливої уваги потребує розвиток методів контролю і моніторингу викидів, моніторингу стоків на регіональному рівні, а також проблема технологічного переоснащення.

5.2.5. Експертні оцінки ризиків при зміні клімату в Україні

Протягом 2013–2014 рр. в Україні здійснювався міжнародний проект Climate Forum East [12]. Проект відбувався за підтримки Європейського Союзу (EU), Австрійського агентства з розвитку (ADA), Австрійського червоного хреста (ARC) та Всесвітнього фонду дикої природи (WWF). Загальну координацію проекту здійснювали представники Австрійського червоного хреста. Проект об'єднав дослідників з Armenii, Azerbaijanu, Грузії, Білорусії, України та Молдови над вивченням проблем зміни клімату на території цих країн, оцінки вразливості та розробленні рекомендаційних адаптаційних заходів до змін клімату.

Оскільки проблеми зміни клімату на території України впливають на велику кількість сфер діяльності громадян, і кожен сферу важко проаналізувати в межах даного проекту, було прийнято рішення обмежити дослідження аналізом та оцінкою вразливості до впливів змін клімату на міста України.

Вразливість урботериторій країни до змін клімату є недостатньо дослідженою, а в містах проживає більша частина громадян України (68%), які піддаватимуться, чи вже піддаються стресам, що спричинені кліматичними впливами, дослідження впливу зміни клімату на міста є актуальним.

О. Шевченко, О. Власюк, І. Ставчук, М. Ваколюк, О. Ільяш, А. Рожкова, які увійшли в робочу групу громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК), здійснили дослідження, результати якого опубліковано у виданні "Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна" [16]. Робота ґрунтується на великій кількості статистичної інформації про зміну кліматичних показників на території України, які

були підготовлені та надані к. геогр. н., зав. відділом синоптичної метеорології Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС НАНУ В. Балабух. Враховано міжнародний досвід адаптації до кліматичних змін у містах. При підготовці роботи були використані міжнародні доповіді, наприклад — “Міста та зміна клімату: направлення стратегії. Глобальна доповідь про населені пункти 2011 року”², аналітичні матеріали, наприклад — “Досвід Європейського Союзу в адаптації до зміни клімату та застосування його в Україні”³.

Публікація включає велику кількість матеріалів та результатів експертних оцінок, що були отримані за результатами регіональних семінарів “Підтримка регіональних зусиль з розробки регіональних планів заходів з адаптації до зміни клімату”, що проходили у містах Тернопіль, Полтава, Донецьк, та відбулися за сприяння Державного агентства екологічних інвестицій України і за фінансової і організаційної підтримки Фонду ім. Фрідріха Еберта в Україні та Білорусії. Представники місцевих та обласних органів влади, фахівці науково-дослідних установ, гідрометеорологічних та громадських організацій, обласних екологічних управлінь та інші спеціалісти були залучені до оцінки та обговорення вразливості міст до кліматичних змін.

Сім груп індикаторів [16] були розроблені для оцінки вразливості міст до негативних наслідків кліматичних змін. Це групи індикаторів для оцінки вразливості міста до теплового стресу, до підтоплення, до стихійних гідрометеорологічних явищ, до погіршення якості та зменшення кількості питної води, до зростання кількості інфекційних та алергійних проявів, індикатори для оцінки вразливості міських зелених зон та остання група індикаторів для оцінки вразливості енергетичних систем міста.

Використання індикаторів, що згадані вище, за розробленою методикою із застосуванням оціночних форм, що наведені в дослідженні [16], дає змогу визначити, яких наслідків слід очікувати у місті в результаті кліматичних змін, та встановити для яких із них необхідно розробляти заходи з адаптації в першу чергу. Методика була апробована у містах Тернопіль, Полтава, Донецьк, які знаходяться в типових ландшафтно-кліматичних зонах України: Лісостепі та Степі. Дослідження кожного окремого міста, вимагає індивідуального підходу до оцінки його кліматичної вразливості. Крім того, що міста знаходяться в різних природно-кліматичних зонах, вони ще й є унікальними за своїм територіальним плануванням, економічним та соціальним розвитком.

Наведемо результати дослідження для міст.

За розробленою методикою була здійснена оцінка вразливості міста Тернополя до зміни клімату, з врахуванням результатів державного семінару “Підтримка регіональних зусиль з розробки регіональних планів заходів з адаптації до зміни клімату”, що відбувся 12–13 вересня 2013 р. в м. Тернопіль. В обговоренні індикаторів вразливості Тернополя до зміни клімату та в здійсненні попередньої оцінки брали участь представники обласної державної адміністрації, обласного управління водних ресурсів, обласного управління сільського господарства, обласного управління лісового та мисливського господарства, обласного гідрометеорологічного центру, науково-дослідних установ, експерти [16]. Було встановлено, що Тернопіль є найбільш вразливим до підтоплення (16 балів), до стихійних гідрометеорологічних явищ (14 балів). Причиною цього є наявність великих водних об'єктів на території міста, неглибоке залягання ґрунтових вод, а також зношеність каналізаційної та зливової систем. Велику небезпеку становлять паводки в місті. Існують прояви водної ерозії, на схилах р. Серет спостерігаються прояви зсувів. Різкі перепади температури призводять до погіршення стану дорожнього покриття в місті. “Чутливість енергетичних систем міста” і “Зростання кількості інфекційних захворювань та алергійних проявів”, — набрали однакову кількість балів (по 10). Відсутність у місті автономних джерел енергії (традиційних та альтернативних) робить критичною ситуацію в місті на випадок аварійних ситуацій (аномальні зливи, пориви вітру). Зростання кількості днів з ожеледдю призводить до зростання випадків аварій у зв'язку із намерзанням на лініях електропередач, що спричиняє знеструмлення будинків та районів міста. Зношеність основних фондів, зростання швидкості вітру та температури додатково навантажує енергетичну систему міста [16].

За віковою структурою міста у Тернополі переважає кількість населення у працездатному віці — 65.7%, що не є чутливим до зміни клімату. Проте, значна частка населення все ж є чутливою до різних перепадів та високих температур. Група “Вразливість до погіршення якості та зменшення кількості питної води” сумарно отримала 8 балів. Результати проведеної оцінки показали, що місто не є дуже вразливим до теплового стресу (ця група індикаторів набрала 7 балів). Тернопільський став, розташований на території міста, крім рекреаційної функції, здійснює ще й екологічну — справляє суттєвий охолоджуючий ефект на мікроклімат міста. Найменш вразливими є зелені зони міста (6 балів).

² Города и изменение климата. Глобальный доклад о населенных пунктах 2011 года // Программа ООН по населенным пунктам [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=3101&alt=1, та/або <https://www.google.com.ua/>.

³ Ерік Е. Массей. Досвід Європейського Союзу в адаптації до зміни клімату та застосування його в Україні // Проект “Сценарії зміни клімату та безпеки в регіоні Східної Європи”, ОБСЄ в рамках міжнародної ініціативи “Довкілля та безпека” — 36 ст., 2012. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.osce.org/uk/eea/93311>.

Це пояснюється наявністю в місті великої кількості об'єктів природно-заповідного фонду.

Можна зробити висновки, що розроблена методика визначення вразливості міст до наслідків глобального потепління допомагає встановити, які заходи з адаптації слід проводити на місцях — інженерно-технічні, будівельно-архітектурні, економічні, заходи санітарно-медичного напрямку, заходи організаційного характеру чи інші заходи. Адаптація до зміни клімату в місті потребує комплексного підходу та виконання заходів на різних рівнях. Для окремих негативних наслідків зміни клімату, важливо розробити систему моніторингу, або раннього оповіщення населення, або управління ризиком. Це дасть змогу, принаймні, частково мінімізувати збитки, спричинені метеорологічними чинниками. А при формуванні загальноміського плану адаптації міста до зміни клімату, слід звернути увагу, що є заходи, які допомагають послабити відразу кілька негативних наслідків кліматичної зміни, а отже, їх впровадження буде найбільш ефективним для адаптації міста.

Висновки

В майбутньому на території країни продовжуватиметься зростання температури повітря та відбуватиметься зміна кількості та характеру опадів протягом року. Потенційними негативними наслідками зміни клімату, що можуть проявлятися в містах України є тепловий стрес, підтоплення та, як наслідок — ускладнення пересування містом, скорочення площ зелених зон та насаджень, порушення видового складу зелених зон міста, посилення стихійних гідрометеорологічних явищ, зростання кількості захворюваностей (зокрема кількості інфекційних захворювань та алергійних проявів), порушення нормального функціонування енергетичних та транспортних систем міст. Оскільки територія України характеризується широким спектром фізико-географічних умов. Відповідно й наслідки зміни клімату для різних регіонів будуть суттєво відрізнятися.

Плануючи заходи з адаптації, варто пам'ятати, що масштаб та інтенсивність негативних наслідків від зміни клімату залежить від обсягу парникових газів, що продукується людською діяльністю. Тому на рівні країни і міста необхідно скорочувати викиди парникових газів для пом'якшення зміни клімату і полегшення адаптації до невідворотних наслідків [16].

Література до розділу 5

1. Александров П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию / П. С. Александров — М.: Наука, 1977. — 370 с.
2. Бунь Р. А. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу

України / Р. А. Бунь [та ін.]. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2004. — 376 с.

3. Изменения земных систем в Восточной Европе / отв. ред. В. И. Лялько. — К.: Фолиант, 2010. — 582 с.
4. Като Т. Теория возмущений линейных операторов. / Т. Като — М.: Мир, 1972. — 420 с.
5. Костюченко Ю. В. Використання даних супутникових спостережень для оцінки регіональних гідролого-гідрогеологічних ризиків / Ю. В. Костюченко [та ін.]. // Космічна наука і технологія. — 2011. — Т.17, № 6. — С. 19–29.
6. Костюченко Ю. В. Методика комплексної оцінки ризиків ландшафтних пожеж за даними супутникових спостережень / Ю. В. Костюченко [та ін.]. // Космічна наука і технологія. — 2011. — Т.17, № 6. — С. 30–44.
7. Костюченко Ю. В. Оцінка стану безпеки територій за даними статистичного аналізу розподілів надзвичайних ситуацій / Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко // Комплексне моделювання управління безпечним використанням продовольчих, водних і енергетичних ресурсів з метою сталого соціального, економічного і екологічного розвитку. — К., 2013. — С. 54–63.
8. Кузик С. П. Економічна і соціальна географія світу: навч. посіб. для студентів географічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / С. П. Кузик, О. І. Шаблій, М. Книш — Львів: Світ, 2005. — 672 с.
9. Лялько В. І. Аналіз невизначеностей в задачах оцінки кліматичних змін на регіональному рівні за даними супутникових спостережень парникових газів / В. І. Лялько [та ін.]. // Космічна наука і технологія. — 2013. — Т. 19, № 6. — С. 18–26.
10. Лялько В. І. Дослідження впливу змін CO₂ та CH₄ в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / В. І. Лялько [та ін.]. // Геол. журн. — 2007. — № 4 (321). — С. 7–16.
11. Лялько В. І. Контроль параметрів динаміки регіональної рослинності на основі даних ДЗЗ з метою підвищення ефективності довгострокового управління гідролого-гідрогеологічними ризиками / В. І. Лялько [та ін.]. // Геоінформатика. — 2012. — №1 (41). — С. 1–7.
12. Офіційний веб-сайт проекту Climate Forum East. Червоний хрест, 2013–2014 рр. [Електронний ресурс] // — Режим доступу: www.climateforumeast.org. — Назва з екрану.
13. Пытьев Ю. П. Задачи редукции в экспериментальных исследованиях / Ю. П. Пытьев // Матем. сб. — 1983. — Т. 120 (162). — № 2. — С. 240–272.
14. Пытьев Ю. П. Математические методы интерпретации эксперимента: Учеб. Пособие для вузов. / Ю. П. Пытьев — М.: Высш. шк., 1989. — 351 с.
15. П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату / Міністерство охорони навколишнього природного середовища. — К., 2009. — 282 с.
16. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколюк М., Ільях О., Рожкова А. “Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна” — Кліматичний форум східного партнерства, Робоча група громадських організацій зі зміни клімату, 2014. [Електронний ресурс]. — Режим досту-

- пу: http://climategroup.org.ua/wp-content/uploads/2014/07/ukraine_cc_vulnerability.pdf. — Назва з екрану.
17. Энгелькинг Р. Общая топология: пер.с англ. / Р. Энгелькинг — М.: Мир, 1986. — 752 с.
18. Aoki M. Optimization of stochastic systems: topics in discrete-time systems. / M. Aoki — New York; London, 1967. — 424 p.
19. Arnold B. C. Pareto Distributions. / B. C. Arnold. — International Co-operative Publishing House, 1983. — 216 p.
20. Boardman J. M. Homotopy invariant algebraic structures on topological spaces. / J. M. Boardman., R. M. Vogt. — Springer-Verlag, Berlin, 1973. — 407 p.
21. Bradley B. O. Financial Risk and Heavy Tails // in Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance (Ed. S.T. Rachev) / B. O. Bradley and M. S. Taqqu. — Elsevier / North-Holland, 2003.
22. Buhlmann H. Mathematical Methods in Risk Theory. / H. Buhlmann — Springer-Verlag; Berlin, 1970. — 214 p.
23. Chen S. X. Nonparametric Estimation of Copula Functions For Dependence Modeling / S. X. Chen and T. Huang // Technical Report, Department of Statistics, Iowa State University, Ames, IA 50011-2008, USA. — 2010. — 20 p.
24. Cherubini U., Luciano E., and Vecchiato W. 2004, Copula Methods in Finance. — New York: JohnWiley.
25. Christianini N., Shawe-Taylor J. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods. / N. Christianini, J. Shawe-Taylor. — Cambridge University Press, UK, 2000. — 212 p.
26. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson). — IPCC: Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2007. — 987 p.
27. Cowpertwait P.S.P. A generalized spatial-temporal model of rainfall based on a clustered point process / Cowpertwait P.S.P. // Proc. R. Soc. Lond. Ser. A. — 1995. — Vol. 450. — P. 163–175.
28. Dowd K. Copulas and Coherence / K. Dowd // Journal of Portfolio Management. № 31. — 2005. — P. 123–127.
29. Dupuis, D. J. Effects of Mis-Specification in Bivariate Extreme Value Problems — D. J. Dupuis, and J. A. Tawn // Extremes. — 2001. — Vol. 4(4). — P. 315–330.
30. Embrechts P. Modelling Dependence with Copulas and Applications to Risk Management / P. Embrechts, F. Lindskog and A. McNeil // Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance (Ed. S. Rachev). — Elsevier, 2003. — P. 329–384.
31. Ermoliev Y. Global Changes: Facets of Robust Decisions / Y. Ermoliev, L. Hordijk // K. Marti, Y. Ermoliev, M. Makowski, G. Pflug (Eds.): Coping with Uncertainty, Modeling and Policy Issues. — Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2006. — P. 4–28.
32. Ermoliev Yuri, Winterfeldt Detlof von, Risk Security and Robust Solutions // IIASA Interim Report, IR-10-013, 2010, IIASA. — 41 p.
33. Final Report of the Defense Science Board Task Force on the Department of Defense Biological Safety and Security Program. — U.S. Defense Science Board, 2009. — 93 p.
34. Fowler H J. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system / H. J. Fowler, C. G. Kilsby, P. E. O'Connell // Water Resour. Res. — 2003. Vol. 39. — P. 1222.
35. Frees, E. W. Understanding Relationships Using Copulas / E. W. Frees, and E. A. Valdez // North American Actuarial Journal. 1998. — № 2. — P. 1–25.
36. GEA, 2012: Global Energy Assessment — Toward a Sustainable Future. — Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2012. — 1882 p.
37. Genest Ch. Discussion of “Understanding Relationships Using Copulas” by Edward Frees and Emiliano Valdez / Ch. Genest, K. Ghoudi and L.-P. Rivest. // North American Actuarial Journal. — 1998. — Vol. 2(3). — P. 143–149.
38. Global Risks 2014. Ninth Edition. Report of the World Economic Forum, Geneva, REF: 090114, 60 pp. www.weforum.org/risks.
39. Global Water Security: Present to 2025. Intelligence Community Assessment (ICA 2012-08). — U.S. Defense Intelligence Agency, 2012. — 30 p.
40. Goovaert, M. J. A Unified Approach to Generate Risk Measures. / M. J. Goovaerts, R. Kaas, J. Dhaene and Q. Tang // ASTIN Bulletin 33 (2), Leuven Univ. Press, Leuven, Belgium/ — 2003. — P. 173–191.
41. Guha-Sapir D. Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. / D. Guha-Sapir, F. Vos, R. Below with S. Ponsérre — Brussels: CRED, 2011. — 50 p.
42. Heo J. / J. Heo, J. S. Park, Y.-S. Song, S. K. Lee, H.-G. Sohn. An integrated methodology for estimation of forest fire-loss using geospatial information // Environ Monit Assess. — 2008. — Vol. 144. — P. 285–299. Doi: 10.1007/s10661-007-9992-8.
43. IPCC SRES. Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Eds. Nakićenović, N., and Swart, R. Cambridge University Press, 2000, ISBN 0-521-80081-1, 978-052180081-5 (pb: 0-521-80493-0, 978-052180493-6).
44. Juri A. Copula convergence Theorems for Tail Events / A. Juri and M. V. Wuthrich // Insurance: Mathematics and Economics. — 2002. Vol. 30 — P. 405–420.
45. Kalnay E. / E. Kalnay [et al.]. The NCEP /NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — Vol. 77. — P. 437–470.
46. Kanamitsu M. / M. Kanamitsu [et al.]. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 2002. — Vol. 83. — P. 1631–1643.
47. Kostyuchenko Yuriy V. Coherent risk measures assessment based on the coupled analysis of multivariate distributions of multisource observation data / Yuriy V. Kostyuchenko, Y. Bilous, I. Kopachevsky, D. Solovyov // Proceedings of 11-th International Probabilistic Workshop. — 2013, Brno. — P. 183–192.
48. Kostyuchenko Yuriy V. Coupling of satellite observation to

- increase reliability of analysis of socio-ecological consequences of technological disasters / Yuriy V. Kostyuchenko [et al.]. // *Int. J. Reliability and Safety*. — Vol. 6, Nos. 1/2/3. — 2012. — P. 225–241.
49. Kostyuchenko Yu.V. Regional risk analysis based on multisource data statistics of natural disasters / Yu. V. Kostyuchenko, D. M. Movchan, M. V. Yuschenko // *Integrated modeling of food, energy and water security management for sustainable social, economic and environmental developments*. (Eds. Zagorodny A.G., Yermoliev Yu.M.). — Kyiv, 2013. — P. 229–238.
 50. Lawless J. F. Frequentist predictions intervals and predictive distributions / J. F. Lawless, M. Fredette // *Biometrika*. — 2005. — Vol. 92, Issue 3. — P. 529–542.
 51. Lee J.-M. Nonlinear process monitoring using kernel principal component analysis / J.-M. Lee, C. K. Yoo, S. W. Choi, P. A. Vanrolleghem, I.-B. Lee // *Chemical Engineering Science*. — 2004. — Vol. 59. — P. 223–234.
 52. Lloyd C. D. Local models for spatial analysis. / C. D. Lloyd. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007. — 244 p.
 53. Lomax, K. S. Business failures. Another example of the analysis of failure data / K. S. Lomax // *Journal of the American Statistical Association*. — 1954. — Vol. 49. P. 847–852.
 54. Lyalko Vadim I. Evaluating Vegetation Cover Change Contribution into Greenhouse Effect by Remotely Sensed Data: Case Study for Ukraine / Vadim I. Lyalko [et al.]. // *Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe* (Ed. Groisman Pavel Ya. and Ivanov Sergiy V. Published by Springer in cooperation with NATO Public Diplomacy Division, 2009. — P. 157–164.
 55. Manolakos I. E. Temperature field modeling and simulation of wireless sensor network behavior during a spreading wildfire / E. Manolakos I., D. Manatakis I. and G. Xanthopoulos // *Proc. of 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008)*, Lausanne, Switzerland, August 25–29, 2008, 5 pp.
 56. Marti K., Ermoliev Y., Makowsk, M., Pflug G. (Eds.), *Coping with uncertainty: Modeling and policy issue*. — Springer Verlag, Berlin, New York, 2010.
 57. Mika S. Kernel PCA and de-noising in feature spaces / Mika S. [et al.]. // *Advances in Neural Information Processing Systems* 11. — 1999. — P. 536–542.
 58. Mudelsee M. On the estimation of trends in the frequency of extreme weather and climate events / M. Mudelsee [et al.]. (Eds.). *Wissenschaftliche Mitteilungen, Institut für Meteorologie der Universität Leipzig, Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig, Leipzig*. — 2001. — Vol. 22. — P. 78–88.
 59. National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2007 // UN GE.09-64266, FCCC/SBI/2009/12, 27 p.
 60. National report “On Technogenic and Natural Security in Ukraine in 2009”. — Kiev, 2010. — 252 p.
 61. Pastor E. Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behaviour / E. Pastor, L. Za’rate, E. Planas, J. Arnaldos // *Progress in Energy and Combustion Science*. — 2003. Vol. 29. — P. 139–153.
 62. Rachev S. Stable Expected Tail Loss (ETL) Optimal Portfolios & Extreme Risk Management / S. Rachev, R. D. Martin, B. Racheva, S. Stoyanov. — *Fin Analytica Foundation Paper*, 2009. — 34 p.
 63. Rachev S., Menn C. and Fabozzi F. J. *Fat Tailed and Skewed Asset Return Distributions: Implications for Risk*, Wiley-Finance, 2005.
 64. Romdhani S. A multi-view nonlinear active shape model using kernel PCA / S. Romdhani, S. Gong, A. Psarrou // *Proceedings of BMVC*, Nottingham, UK. — 1999. — P. 483–492.
 65. Scheolkopf B. Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem / B. Scheolkopf, A. J. Smola, K. Muller // *Neural Computation*. — 1998. — Vol. 10, № 5. — P. 1299–1399.
 66. Schmidt D. F. Universal Models for the Exponential Distribution / D. F. Schmidt and E. Makalic // *IEEE Transactions on Information Theory*. — 2009. — Vol. 55, № 7. — P. 3087–3090. doi:10.1109/TIT.2009.2018331.
 67. Sklar A. *Random Variables, Distribution Functions, and Copulas — a Personal Look Backward and Forward* / A. Sklar // *Ruschendorf et. al. (Eds.) Distributions with Fixed Marginals and Related Topics*. — Institute of Mathematical Sciences, Hayward, CA, 1996.
 68. *Strategic Implications of Global Health. (ICA 2008-10D)*. — U.S. Defense Intelligence Agency DIA/National Center for Medical Intelligence, and the National Counterproliferation Center, 2008. — 60 p.
 69. The World Bank. *Global Economic Prospects January 2013: Assuring growth over the medium term*. — Washington, DC: World Bank, 2013. — Vol. 6. — 178 p.
 70. *Trends and Implications of Climate Change for National and International Security: Report of U.S. Defense Science Board*. — 2011. — 175 p.
 71. Venter, G. G. Tails of Copulas / G. G. Venter // *Proceedings of the Casualty Actuarial Society*. — 2002. — Vol. 89. — P. 68–113.
 72. Villez K. Combining multiway principal component analysis (MPCA) and clustering for efficient data mining of historical data sets of SBR processes / K. Villez [et al.]. // *Water Science & Technology*. — 2008. — Vol. 57, № 10. — P. 1659–1666.
 73. Wang X. A Comparison of Breeding and Ensemble Transform Kalman Filter Ensemble Forecast Schemes / X. Wang, C. H. Bishop // *Journal of the Atmospheric Sciences*. — Vol. 60. — 2003. — P. 1140–1158.
 74. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Eds. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson). — IPCC: Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2013. — 867 p.

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

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

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

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

Журнал має такі розділи:

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

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

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

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

Представлення рукописів

Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua або ж на альтернативних електронних носіях за адресою: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. 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, адреса, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (див. Додаток 2) у форматі JPEG/PDF або паперові примірники.

Загальні вимоги

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

Оформлення рукопису

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

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

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

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті (без аббревіатур, звичайне накреслення)
- 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 однукову цифру (верхній індекс))
- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед ним та після прізвища ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті (слово “Резюме” не пишуть)
- Ключові слова мовою статті
- © (знак авторського права), ініціали та прізвища авторів. Рік
- Текст статті
- Список літератури (“Література”)
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме (abstract), а також ключові слова (keywords) двома мовами окрім мови статті

Текст

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

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

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

Формули треба набирати у редакторі Microsoft Equation, і не вставляти їх у текст у вигляді таблиць або зображень.

Будь ласка, не користуйтеся програмою Math Type.

Таблиці. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали книжну орієнтацію. Формат — MS Word. 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. *Будь ласка, не вмонтовуйте таблиці у текст як зображення.*

Ілюстрації

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

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

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

Література

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

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

Бібліографічний опис документів складають згідно стандарту бібліографічного опису документів ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. (*Стандарт легко можна знайти у Інтернеті*).

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 хроно-

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

ДОДАТОК 1

Авторські права і етичні норми наукової публікації

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

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

ДОДАТОК 2

Авторська згода

(документ має бути підписаний відповідальним автором публікації)

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

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

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

Дата, підпис

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

Редакція "Українського журналу дистанційного зондування Землі"

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

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. Рассматриваются преимущественно объекты Украины, а также других стран, если они представляют общенаучный интерес.

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).

Редакция принимает материалы, которые представляются на украинском, русском и английском языках.

Представление рукописей

Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua, или на альтернативных электронных носителях по адресу: Укра-

ина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олеса 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 (см. 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 (keywords). Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на русском и украинском соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи

Формат документа — Word-97–2003.

Размер страницы — А4. Гарнитура — Times New Roman, кегль — 12 пунктов. Текст форматируют без переносов, абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки. Формат графических приложений — TIFF/PNG, разрешение — 300 dpi/inch, цветовая модель CMYK/RJB.

Структура рукописи:

- УДК
 - Название статьи (без аббревиатур, строчными буквами)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов). Инициалы отделяют пробелами
 - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях перед названием учреждения и после фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)
- Электронный адрес или тел/факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)
 - Резюме на языке статьи (слово “Резюме” не пишут)
 - Ключевые слова на языке статьи
 - © (знак авторского права), инициалы и фамилии автора/авторов. Год
 - Текст статьи
 - Список литературы (“Литература”)
 - Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstrakt), 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, 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 в рядку пользуйтесь не пробелами а межбуквенным интервалом (Формат / Шрифт / Интервал / Разреженный). Не набирайте текст включив Caps Lock.

Фамилии. Напоминаем, что в текстах написанных по-украински 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 тексте обязательны. *Не вставляйте таблицы в текст как изображения!*

Формулы следует набирать в редакторе Microsoft Equation, и не вставлять их в текст в виде изображений. Формулам надо присваивать сквозную нумерацию.

Пожалуйста, не набирайте формулы в программе Math Type.

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 делают 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* (ГОСТ без труда можно отыскать в Интернете).

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.

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 статье 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

Адрес редакции: Украина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олеса Гончара, 55-Б, Редакция “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”. Тел.: + (38044) 486 9405, 484 04 85; факс: + (38044) 486 9405, 486 1430. www.ujrs.org.ua/ujrs, E-mail: info@ujrs.org.ua