

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ

ISSN 2616-5562 (Online)

ISSN 2616-5643 (Print)

# МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО

*1(107)•2018*

Міжвідомчий тематичний  
науковий збірник

Київ  
2018

DOI: 10.31073/mivg201801

**Засновник** – Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України. Свідоцтво про державну реєстрацію – № 21720-11620 ПР

Видання занесене до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних і сільськогосподарських наук (Наказ Міністерства освіти і науки України від 09.03.2016 № 241).

У збірнику відображено результати теоретичних та експериментальних досліджень з пріоритетних напрямів: агроресурси, водні ресурси, зрошення, осушення, гідрологія, екологія, гідротехніка, агроінженерія тощо. Стане у пригоді науковцям, фахівцям водного та сільського господарства.

Журнал включено до міжнародних та національних інформаційних та наукометричних баз, репозитаріїв та пошукових систем:

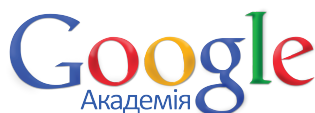
*Research Bib Journal Database (Японія)*



*РИИЦ (Російська Федерація)*



*Google Scholar (США)*



*Національна бібліотека України  
імені В. І. Вернадського*



*CIARD RING*



*Scientific Indexing Services  
(SIS)*



*Crossref*



Пристатейний список літератури продубльовано відповідно до вимог міжнародних систем транслітерації (зокрема, наукометричної бази SCOPUS)

**Рекомендовано до друку вченою радою Інституту водних проблем і меліорації НААН 25 червня 2018 року (протокол № 8).**

**Адреса редакції:**

Інститут водних проблем і меліорації НААН  
вул. Васильківська, 37, Київ, 03022  
Тел. (044) 257-31-84, 050 947 90 35

**ISSN 2616-5562 (Online)**

**ISSN 2616-5643 (Print)**

© Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2018

LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT № 1 (107) • 2018

INTERDEPARTMENTAL THEMATIC SCIENTIFIC COLLECTION  
“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

1(107)•2018

«МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО»

EDITORIAL BOARD:

**M. ROMASCHENKO**, Doctor of Engineering Sciences, Prof, Academician of NAAS. (Editor-in-Chief)

**A. SHATKOVSKY**, Doctor of Agricultural Sciences (Deputy Editor-in-Chief)

**T. TROSHYNA, N. LOGUNOVA, K. SHATKOVSKA, O. VOITOVYCH** (Executive Editors)

**V. ADAMCHUK,**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,  
Academician of NAAS*

**M. MALYARCHUK,**

*Doctor of Agricultural Sciences*

**S. BALIUK,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,  
Academician of NAAS*

**Y. MYKHAYLOV,**

*Doctor of Engineering Sciences*

**B. SCHULTZ,**

*Dr. habil., Prof. (The Netherlands)*

**V. MOSHYNSKY,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.*

**W. MIODUSZEWSKI,**

*Dr. habil., Professor (Poland)*

**O. MUZYKA,**

*Ph.D. in Engineering Sciences*

**V. VERGUNOV,**

*Doctor of Agricultural Sciences,  
Prof., Academician of NAAS*

**V. POPOV,**

*Doctor of Engineering Sciences*

**V. VYSHNEVSKY,**

*Doctor of Science in Geography, Prof.*

**A. ROKOCHYNSKY**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof.*

**R. VOZHEVOVA,**

*Doctor of Agricultural Sc., Prof., Full member of NAAS*

**I. SLIUSAR,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.*

**V. GURIN,**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof.*

**V. STASHUK**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof.,  
Full member of NAAS*

**N. DUBENOK,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,  
Academician of RAS, (Russia)*

**O. TARARIKO,**

*Doctor of Agricultural Sc., Prof.,  
Academician of NAAS*

**V. KAMINSKY,**

*Doctor of Agricultural Sc., Prof., Academician of NAAS*

**Y. TARARIKO,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,  
Full member of NAAS*

**O. ZHOVTONOG,**

*Doctor of Agricultural Sciences*

**V. USHKARENKO,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,  
Academician of NAAS*

**B. KIZYAEV,**

*Doctor of Engineering Sciences., Prof., Academician of  
RAS (Russia)*

**O. FURDYCHKO,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof.,  
Academician of NAAS*

**P. KOVALENKO,**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof. Academician of  
NAAS, RAS(Russia) and IAA Georgofili (Italy)*

**B. FAYBYSHENKO,**

*Doctor of Engineering Sciences (USA)*

**P. KOVALCHUK,**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof.*

**P. KHORUZHY,**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof.*

**V. KRAVCHUK,**

*Doctor of Engineering Sc.s, Prof., Full member of NAAS*

**S. SHEVCHUK,**

*Ph.D. in Engineering Sciences*

**A. LIHATSEVICH,**

*Doctor of Engineering Sciences, Prof., Full member of the  
NAAS of Belarus, Academician (Russia)*

**M. YATSYK,**

*Ph.D. in Engineering Sciences*

**Y. MAZHAYSKY,**

*Doctor of Agricultural Sciences, Prof. (Russia)*

**A. YATSYK,** Doctor of Engineering Sciences, Prof.,  
Academician of NAAS

**M. YATSUK,**

*Ph.D. in Geography*

KYIV • 2018

МІЖВІДОМЧИЙ ТЕМАТИЧНИЙ НАУКОВИЙ ЗБІРНИК  
«МЕЛІОРАЦІЯ І ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО»

1(107)•2018

“LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT”

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

**М.І. РОМАШЕНКО**, д.т.н., проф., акад. НААН (головний редактор)  
**А.П. ШАТКОВСЬКИЙ**, д.с.-г.н., с.н.с. (заступник головного редактора)  
**Т.І. ТРОШИНА, Н.В. ЛОГУНОВА, К.Б. ШАТКОВСЬКА, О.П. ВОЙТОВИЧ** (виконавчі редактори)

<b>В.В. АДАМЧУК</b> , д. т. н., проф., акад. НААН	<b>М.П. МАЛЯРЧУК</b> , д. с.-г. н., с.н.с.
<b>С.А. БАЛЮК</b> , д. с.-г. н., проф., акад. НААН	<b>Ю.О. МИХАЙЛОВ</b> , д. т. н., с.н.с.
<b>BART SCHULTZ</b> , д., проф. (Нідерланди)	<b>В.С. МОШИНСЬКИЙ</b> , д. с.-г. н., проф.
<b>WALDEMAR. MIODUSZEWSKI</b> , д., проф. (Польща)	<b>О.П. МУЗИКА</b> , к. т. н., с.н.с.
<b>В.А. ВЕРГУНОВ</b> , д. с.-г. н., проф., акад. НААН	<b>В.М. ПОПОВ</b> , д. т. н., с.н.с.
<b>В.І. ВИШНЕВСЬКИЙ</b> , д. геогр. н., проф.	<b>А.М. РОКОЧИНСЬКИЙ</b> , д. т. н., проф.
<b>Р.А. ВОЖЕГОВА</b> , д. с.-г. н., проф., чл.-кор. НААН	<b>І.Т. СЛЮСАР</b> , д. с.-г. н., проф.
<b>В.А. ГУРИН</b> , д. т. н., проф.	<b>В.А. СТАШУК</b> , д. т. н., проф., чл.-кор. НААН
<b>М.М. ДУБЕНОК</b> , д. с.-г. н., проф., акад. РАН (Росія)	<b>О.Г. ТАРАРІКО</b> , д. с.-г. н., проф., акад. НААН
<b>О.І. ЖОВТОНОГ</b> , д. с.-г. н., с.н.с.	<b>Ю.О. ТАРАРІКО</b> , д. с.-г. н., проф., чл.-кор. НААН
<b>В.Ф. КАМІНСЬКИЙ</b> , д. с.-г. н., проф., акад. НААН	<b>В.О. УШКАРЕНКО</b> , д. с.-г. н., проф., акад. НААН
<b>Б.М. КІЗЯЄВ</b> , д. т. н., проф., акад. РАН (Росія)	<b>Б.О. ФАЙБИШЕНКО</b> , д. т. н., проф. (США)
<b>П.І. КОВАЛЕНКО</b> , д. т. н., проф., акад. НААН, член РАН (Росія), член IAA Georgofili (Італія)	<b>О.І. ФУРДИЧКО</b> , д. с.-г. н., проф., акад. НААН
<b>П.І. КОВАЛЬЧУК</b> , д. т. н., проф.	<b>П.Д. ХОРУЖИЙ</b> , д. т. н., проф.
<b>В.І. КРАВЧУК</b> , д. т. н., проф., чл.-кор. НААН	<b>С.А. ШЕВЧУК</b> , к. т. н. с.н.с.
<b>А.П. ЛІХАЦЕВИЧ</b> , д. т. н., проф., чл.-кор. НАН (Білорусь), член РАСГН (Росія)	<b>А.В. ЯЦИК</b> , д. т. н., проф., акад. НААН
<b>Ю.А. МАЖАЙСЬКИЙ</b> , д. с.-г. н., проф.	<b>М.В. ЯЦИК</b> , к. т. н., с.н.с.
	<b>М.В. ЯЦЮК</b> , к. геогр. н.

КУІV • 2018

DOI: 10.31073/mivg201801-121

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/121>

UDC 628.16:552.546

## METHOD OF ENGINEERING CALCULATIONS OF BIOREACTORS FOR BIOLOGICAL TREATMENT OF NATURAL WATER AND ADVANCED TREATMENT OF SEWAGE

P.D. Khoruzhy<sup>1</sup>, S.R. Stasiuk<sup>2</sup>, Y.B. Mosiychuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Water Problems and Land Reclamations of NAAS, Kyiv, Ukraine; e-mail: petro1939@bigmir.net

<sup>2</sup> Institute of Water Problems and Land Reclamations of NAAS, Kyiv, Ukraine; e-mail: sr-stasyuk@ukr.net

<sup>3</sup> Institute of Water Problems and Land Reclamations of NAAS, Kyiv, Ukraine; e-mail: y.mosiichuk@gmail.com

**Abstract.** The system “bioreactor (BR) – contact clarifying filter (CCF)” of biological water purification with various impurities in it in the case of direct water flow through successively interacting structures is analyzed. The method of engineering calculations of the BR that provides saturation of water with oxygen, gases removal from water, and biochemical oxidation of impurities present in the input water, with the help of microorganisms immobilized on fibrous filtering load, is developed.

**Key words:** bioreactor, biological film, fibrous loading, substrate concentration, porosity of loading, water quality

**Formulation of the problem.** In order to intensify the processes of natural and sewage treatment in agricultural water supply and sewage systems, a number of measures have been proposed, some of which are the use of biological methods of water purification with the help of attached hydrobionts in fine-fiber loading bioreactors, as well as gravity forces in the ascending movement of the coagulated water through floating filtering boot.

For the first time, raised the question of the expediency of microbiological methods for purification of natural waters, Professor P.I. Carnation [2], which claims that the microbiological method can purify any contaminated water, significantly improve the efficiency of water purification, improve the quality of purified water and reduce its cost.

Currently, biological methods are widely used for purification of natural and wastewater treatment [3-5]. With the biological method of neutralizing underground waters, the specific iron bacteria *Gallionella ferruginea*, due to their catalytic action, quickly oxidize  $Fe_2$ , and the resulting iron hydroxide  $Fe(OH)_3$  accumulate in a compact form, which significantly increases the dirt content of the KPF and the duration of the filtracycle.

Features of the installation with BR and KPF. A water treatment plant for purifying natural or purifying sewage (Figure 1) works like this [6]. Output water through the pipe 1-through the aerator 2 is fed to BR with a fibrous load 4, which is fixed between the grate bars 5. When spraying water in the aerator 2 into small droplets and falling from the height not less than 0.5m water is saturated

with oxygen, which is used by microorganisms immobilized on a fibrous charge, for the oxidation of impurities present in the source water.

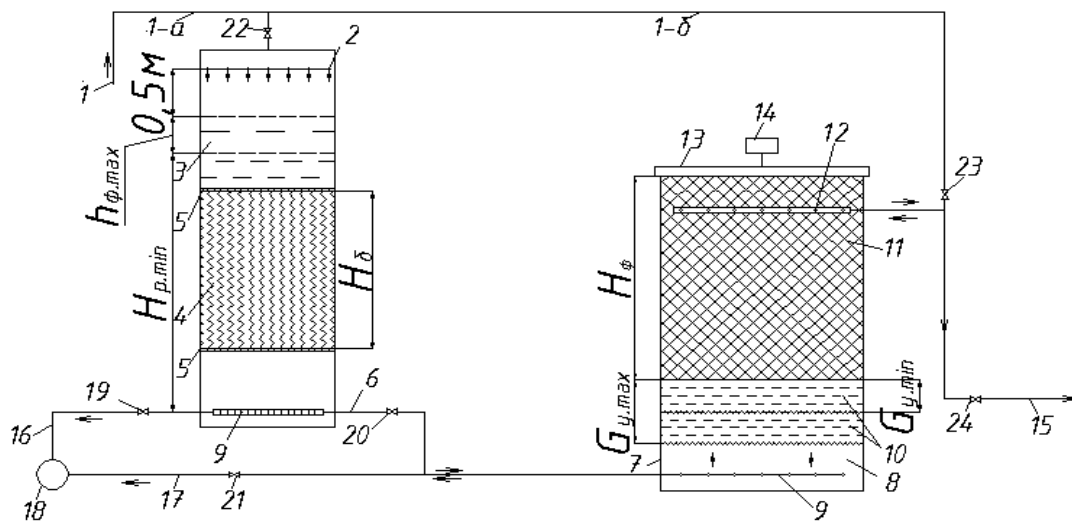
BR has the following functions:

- biochemical oxidation of impurities present in the source water;
- removal of gases from the water to eliminate bubble colmatation in the subfilter space 8 KPF;
- ensuring a constant rate of water filtration during the filtration cycle due to an increase in the water level in it when the loss of pressure on the KPF from hf.0 (at a clean loading) to hf.max. (at the end of the filter cycle).

The KPF 7 undergoes a deep water purification during its ascending movement through foam polystyrene loading. In the subfilter space of this filter 8, a precipitate from the hydroxide group (in the purification of natural water) or active sludge (in the purification of wastewater) is accumulated in the subfilter space of this filter, which is additionally involved in water purification, which, after rising filtration through foam polystyrene loading, is collected by a cap drainage 12 and is discharged by pipeline 15 for further use.

The purified water corresponds to the normative parameters for the filter of this design and at a given rate of water filtration  $V_f$ , when the specific dirt content of the KPF is between  $G_{b.min}$  and  $G_{b.max}$ . The specific filtration of the filter for this rate of water filtration is called the amount of sediment that falls on 1  $m^2$  of filter area,  $kg/m^2$ .

When reaching the magnitude of  $G_{b.max}$  and its corresponding head loss in loading hf.max (Fig. 1), the KPF should be washed out. To do



**Fig. 1. Technological scheme of the installation for purification of natural or wastewater treatment:**

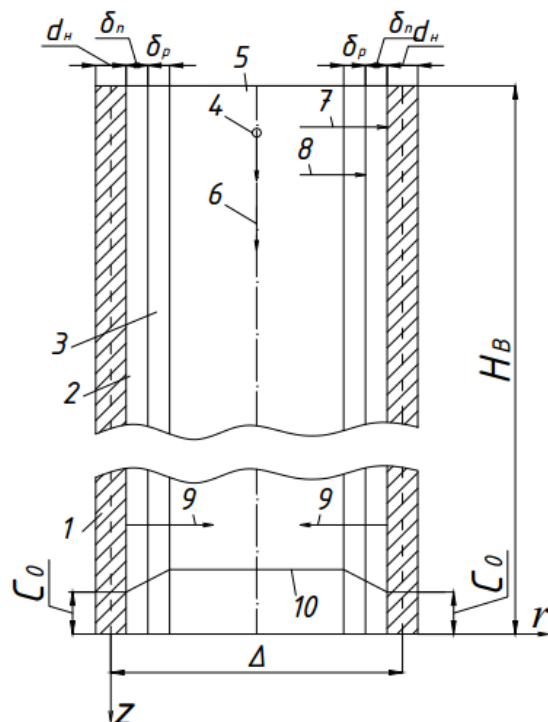
1 – supply of outgoing water; 1-on BR; 1-b – for washing the KPF; 2 – aerator; 3 – BR; 4 – fine-fiber loading; 5 – grate bars; 6 – drainage of water to the KPF; 7 – KPF; 8 – subfilter space; 9 – drainage and water distribution system; 10 – sediment (active sludge); 11 – floating polystyrene filter loading; 12 – cap drainage; 13 – cover; 14 – hinge; 15 – removal of purified water; 16 – dumping sludge when washing BR; 17 – the same, when rinsing the KPF; 18 – the sewer pipe; 19 – 24 – latches

this, close the latches 20, 22 and 24 and open the latches 21 and 23. The washing water, moving from top to bottom through the foam polystyrene boot 11, washes out the excess sediment  $\Delta G = G_{b,max} - G_{b,min}$  from the subfilter space and removes it through the drainage system 9 and pipeline 17 in the sewer pipe 18.

The flushing of the KPF with this intensity  $q_{np}$  must be performed during the estimated time  $t_{pr}$  to ensure the standard quality of the filtered water in the next filter cycle of its operation.

**The purpose of the research** is to develop a method of mathematical modeling of processes of biological purification of natural and sewage water on bioreactors and methods of engineering calculations of these structures to determine their optimal structural and technological parameters.

**The principle of the bioreactor.** Microorganisms inhabiting a biofilm, which is formed on the surface of fiber fibers, oxidize substances that are in the source water, oxygen, thus obtaining energy for their life (Fig. 2).



**Fig. 2. Scheme of metabolism in the elementary layer of BR with fibrous loading:** 1 – fibrous threads of loading; 2 – biological film; 3 – liquid film; 4 – impurities in the source water; 5 – the source water; 6 – direction of movement of water; 7 – admission of impurities to a biofilm; 8 – the flow of oxygen; 9 – removal of biological water purification products from biofilms; 10 – diagram of the distribution of pollution concentration;  $H_B$  – length of filaments of fibrous loading;  $d_n$  – diameter of fibers;  $\delta_p$  and  $\delta_n$  are the thickness of the biofilm and the liquid film respectively;  $\Delta$  – the distance between the axes of the filaments in the fibrous loading

After intense aeration, the initial water enters the BR and is evenly distributed between the filamentous filaments, flowing around the surface on which the biofilm is formed with aerobic microorganisms. At the same time, processes such as adhesion, sorption, diffusion, destruction, oxidation, etc. occur, which results in the rapid removal of oxidized substances and the formation of new substances [7-9].

Mathematical model and algorithm of engineering calculations BR. For a mathematical description of water purification processes in the BR it is necessary to establish the balance of the change in the concentration of contamination in the biofilm, the liquid film and the volume of

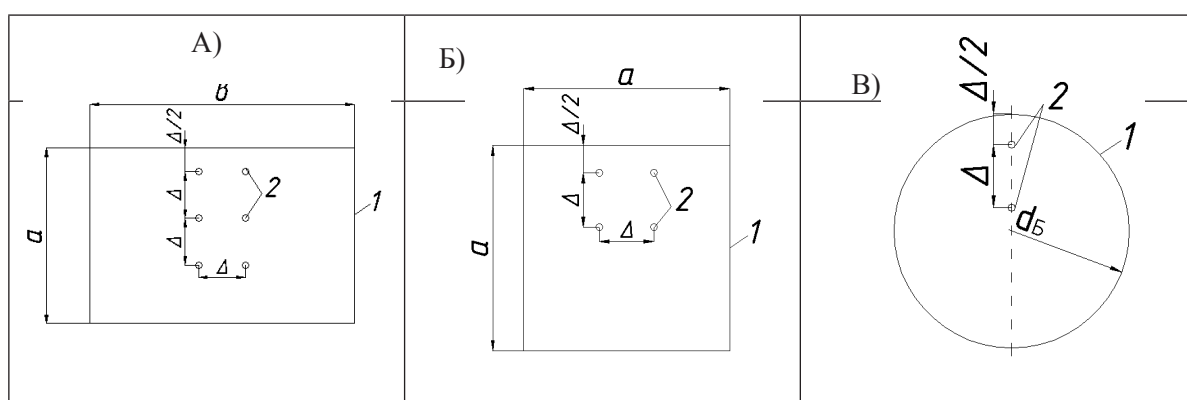
the source water, which is located between the fibrous filaments and moves from top to bottom (fig. 2).

Around the filament yarn 1 with diameter  $d_n$ , a biological film 2 with a thickness  $\delta_p$  is formed, and a thin laminar layer 3 (liquid film) with thickness  $\delta_r$  is formed near the surface of the biofilm.

The area of the biofilm in 1 m BR is determined by the formula:

$$F_{\delta} = \pi d_n N, \text{ M}^2/\text{M} \quad (1)$$

where  $N$  is the number of filaments in the BR, which depends on the shape of its cross-section (Fig. 3) and the distance between the axes of the filaments in the fibrous loading  $\Delta$ :



**Fig. 3. Schemes of uniform placement of filament yarns in the cross section of BR:**

*A – rectangular shape; B – square form; B – cylindrical shape;  
1 – building BR; 2 – fibrous filaments*

The coefficients of packaging of BR with fibers are determined by the formulas [11]:

a) for BR of a rectangular shape

$$b) \alpha = \frac{\omega_H N}{ab} \cdot \frac{(a-\Delta)(b-\Delta)}{\Delta} = \frac{\omega_H}{ab} \left( \frac{a}{\Delta} - 1 \right) \left( \frac{b}{\Delta} - 1 \right) \quad (2)$$

c) for BR of a square shape

$$d) \alpha = \frac{\omega_H N}{a^2} = \frac{\omega_H}{a^2} \cdot \frac{(a-\Delta)}{\Delta} = \omega_H \left( \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{a} \right)^2 \quad (3)$$

e) for BR of a cylindrical shape

$$\alpha = \omega_H \left( \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{d_{\delta}} \right)^2 \quad (4)$$

In these formulas:  $a$  and  $c$  are the dimensions of the sides of the cross-section BR of rectangular shape;  $db$  – diameter of cylindrical BR;  $\Delta$  is the distance between the axes of the filament yarns;  $\omega_H$  – cross-sectional area of one thread;  $N$  – number of threads in BR.

The porosity of the fibrous loading is determined by the formula:

$$P = 1 - \alpha \quad (5)$$

In the process of water filtration, the porosity of BR will change by expression

$$P_t = 1 - \omega_{Ht} / \Delta^2 = P_0 - \Delta P_t, \quad (6)$$

where  $P_0$  and  $P_t$  are the porosity of BR in the beginning of the filtracycle and after  $t$  hours of its work;  $\Delta P_t$  – decrease of this porosity at time  $t$  as a result of overgrowing of filaments with biofilms;  $\omega_{Ht}$  is the average cross-sectional area of one thread at this moment.

The value of  $\Delta P_t$  is determined by the formula:

$$\Delta P_t = \pi / 4 (\delta_{nt} / \Delta)^2, \quad (7)$$

where  $\delta_{nt}$  is the thickness of the biological film around the yarn at the time  $t$ .

Since the sizes of BR:  $a$ ,  $in$  and  $db$  (Fig. 3) are much larger values of  $\Delta$ , after algebraic transformations, the area of the biofilm in 1 m BR can be determined by the formula:

$$F_{\delta} = \frac{\pi d_n \omega_{\delta}}{\Delta^2}, \quad (8)$$

where – cross-sectional area BR,  $m^2$ .

The required number of threads in the BR with the area with the accepted distance between the axes of threads  $\Delta$  is determined by the formula:

$$N = \omega_\phi / \Delta^2, \quad (9)$$

or with a known number of threads  $N$ , the average distance between their axes should be:

$$\Delta = \sqrt{\omega_\phi / N}. \quad (10)$$

When compiling the equations of the material balance recorded in relation to the concentration of pollution, the changes of which occur in the BR, assumptions are adopted, described in the special literature [6, 7], which made it possible to obtain the following dependence:

$$P \frac{\partial C}{\partial t} = -V_\phi \frac{\partial C_e}{\partial z} - \frac{KcF\phi}{\omega_\phi} (C_e - C_\phi) g / (\text{dm}^3 \text{ hour}) \quad (11)$$

where  $Vf$  – velocity of water filtration in BR, m/h;  $P$  – porosity of filter loading BR; and – concentration of the substrate in the initial water, respectively, in the pore channels of the BR and on the boundary of the liquid film and the biofilm, g/m<sup>3</sup>; and – change in the concentration of the substrate, respectively, in time and along the way of filtering water in the BR;  $Kc$  – coefficient of mass transfer of a substrate in a liquid film, m/h; – the total area of the biofilm BR with a height of 1 m, m<sup>2</sup>/m; – cross-sectional area of BR, through which the source water moves, m<sup>2</sup>.

The porosity of the fibrous loading is determined by the formula (6), and the area of the biofilm in 1 m BR – by the formula (8).

So, for BR with fiber-loaded filtering boot, you can write:

$$\left(1 - \frac{\omega_H t}{\Delta^2}\right) \frac{\partial C_e}{\partial z} - V_\phi \frac{\partial C_e}{\partial z} - \frac{KcF\phi}{\omega_\phi} (C_e - C_\phi) g / (\text{dm}^3 \text{h}) \quad (12)$$

As a result of the solution of equation (12), a dependence is obtained for the determination of the substrate concentration on the height of the Hb filter:

$$C_{e(z,t)} = C_0 e^{-z} \quad (13)$$

where  $C_0$  – concentration of the substrate in the source water at the entrance to the BR, g/m<sup>3</sup>;  $\gamma$  is the parameter characterizing the intensity of change in the concentration of the substrate at the boundary of the separation of films in the height of the BR:

$$\tilde{z} = z \frac{A_0}{V_\phi} \quad (14)$$

where  $A_0$  is the parameter characterizing the conditions of biosorption in BR

$$A_0 = \frac{Kc\pi d_n}{\Delta^2} \left(1 - \frac{C_\phi}{C_e}\right), \text{ hour}^{-1} \quad (15)$$

At the output of the BR  $z = H_0$ . Then:

$$C_\phi = C_0 e^{-H_0} \quad (16)$$

$$H_0 = H_\phi \frac{A_0}{V_\phi} \quad (17)$$

After recording the dependence (17) relative to  $H_b$ , we obtain the following expressions for determining the required height of BR  $H_b$  or with a known value  $H_b$  for determining the quality of the water  $C_\phi$ , leaving the BR:

$$H_0 = \frac{V_\phi}{A_0} \ln \frac{C_0}{C_\phi}, \text{ m} \quad (18)$$

$$C_\phi = C_0 / \exp \frac{A_0 H_0}{V_\phi}, \text{ g/m}^3 \quad (19)$$

As we see from the formula (18), the required working height of the loading BR (Fig. 1) depends on the estimated depth of water purification  $C_0/C_\phi$ , is directly proportional to the water filtration rate and is inversely proportional to the value of the parameter  $A_0$ , which is determined by the formula (15), which after transformations has the form:

$$A_0 = AB, \text{ hour}^{-1} \quad (20)$$

where  $A$  – parameter characterizing the process of mass transfer between fibrous filaments BR:

$$A = Kc \left(1 - \frac{C_\phi}{C_e}\right) \text{ m/hour} \quad (21)$$

$B$  is the parameter characterizing the geometric environment of the fibrous loading and is equal to the ratio of the length of the line around one load thread to the square of the distance between their axes:

$$B = \frac{\pi d_n}{\Delta^2}, \text{ m}^{-1} \quad (22)$$

Consequently, with the increase in the number of threads per unit volume of fiber load, the value of  $\Delta$  will decrease, that is, the parameters  $B$  and  $A_0$  will increase, and the required height of BR according to formula (18) will be smaller.

**Engineering calculations BR.** BR perform the role of air separators, the area of which must be taken from the calculation of the velocity of the downstream water flow not more than 0,05 m/s and the duration of water in it for at least 1 minute [12].

The calculations are in the following sequence:

– for the estimated flow of water through the BR  $Q_p$ , m<sup>3</sup>/hour, the accepted number of threads of fibrous loading  $N$  and the cross-sectional area of one thread, determine the cross-sectional area of BR:

$$\omega_\phi = \frac{Q_p}{180} + N \omega_n, \text{ m}^2 \quad (23)$$



and the velocity of water in the BR:

$$V\phi = Q_p / \omega_6 \text{ м/ГОД} \quad (24)$$

– to ensure the required time for water in the BR with a duration of  $tr \geq 1h$ , its height should be no less (Figure 1)

$$H_{p,min} \geq \frac{Q_p t_p}{60 \omega_6}, m \quad (25)$$

At the limit velocity of water in the BR  $V_{rr} = 0,05 \text{ m/s}$ , this height should be not less than  $H_{p,min} \geq 3 \text{ m}$ ;

– for preliminary calculations, we take the approximate values of the output constants and coefficients defined in the special literature [7, 8]:  $Kc = 0,025-0,080 \text{ m/hour}$ ;  $A = 0,01-0,04 \text{ m/hour}$ ;  $\delta p = 0,1-0,2 \text{ mm}$ ;

– determine the parameter B by formula (22), the parameter  $A_0$  by the formula (20) and the value of Hb by the formula (18);

– according to laboratory studies, we find the maximum specific bristle content of BR, the duration of the filtracycle in the zone of accumulation of contaminants and the duration of washing BR in its given intensity;

– specify the estimated values of  $H_b$  and  $S_f$  and the efficiency of water purification in the BR.

**Conclusions.** The required working height of the loading BR depends on the depth of the water treatment  $C_0/C_\phi$ , is directly proportional to the water filtration rate  $V_\phi$  and inversely proportional to the number of threads in the unit of loading BR.

The developed methodology of engineering calculations BR can determine their rational design and technological parameters, based on the requirements of providing the required time for water in the BR at the marginal velocity of the downward movement of water and the calculated efficiency of water purification from impurities.

### References

1. Horuzhy, P.D., Khomutetska, T.P., & Horuzhy, V.P. (2009). *Resursozberihayuchi tekhnolohiyi vodopostachannya [Resource-saving water supply technologies]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
2. Gvozdyak, P.I. (1989). *Mikrobiologiya i biotekhnologiya ochistki vody: Quo vadih [Microbiology and biotechnology of water purification: Quo vadih]*. *Khimiya i tekhnologiya vody – Chemistry and technology of water*, 9, 854-858 [in Ukrainian].
3. Grochmann, A., Gollasch, R., & Chumacher, G. (1989). *Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grundwasser in Speyir [Biological de-icing and demanganization of methane-containing groundwater in Speyir]*. *GWF. Wasser, Abwasser – GWF. Water, Sewage*, 441-447 [in German].
4. Badjo, I., & Mouches, P. *Technologies appropriées. The exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au Togo*. 38, 3, 197– 206 [in English].
5. Kovalchuk, V.A. (2002). *Ochystka stichnykh vod [Waste water treatment]*. Rivne: VAT "Rivnens'ka drukarnya" [in Ukrainian].
6. Horuzhy, P.D., & Mosiychuk, Ya.B. (2018). *Patent na korysnu model' №122635. Stantsiya dlya biolohichnoho ochyshchennya hospodars'ko-pobutovykh stichnykh vod [Patent for Utility Model №122635. Station for biological treatment of household wastewater]*. Kyiv: Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrainy [in Ukrainian].
7. Christiansen, P., Hollesen, L., & Harremoes, P. (1995). *Liquid film diffusion of reaction rate in submergen biofilters*. *Wat. Res.*, vol. 29, 1, 947-952 [in English].
8. Henze, M., Harremoes, P., Jansen, C., & Arwin, E. (2002). *Wastewater Treatment Springer*. Berlin, New York [in English].
9. Horuzhy, V.P. (2004). *Kinetyka vyskhidnoho fil'truvannya vody na ustanovkakh z voloknysto-pinopolistyrol'nykh zavantazhenniam [Kinetics of ascending filtering of water at installations with fiber-foam polystyrene loading]*. *Visnyk inzhenernoyi akademiyi Ukrainy – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 82-87 [in Ukrainian].
10. Nedashkivsky, I.P. (2015). *Ochystka hospodars'ko-pobutovykh stichnykh vod na fil'trakh z voloknysto-pinoplastovym zavantazhenniam [Cleaning of household sewage on filters with fiber-foam-type loading]*. *Candidate's thesis*. Odessa: State Academy of Civil Engineering and Architecture [in Ukrainian].
11. Kotelchuk, A.L. (2008). *Obgruntuvannya tekhnolohiyi pidhotovky hospodars'ko-pobutovykh stichnykh vod dlya vykorystannya yikh v systemakh zroshennya [Substantiation of technology for the preparation of household sewage for their use in irrigation systems]*. *Candidate's thesis*. Kyiv: Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation of UAAS [in Ukrainian].
12. D.B.N V.2.5-74:2013. (2013). *Vodopostachannya. Zovnishni merezhi ta sporudy [Water supply. External networks and facilities]*. Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].

**Бібліографія**

1. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.
2. Гвоздяк П.И. Микробиология и биотехнология очистки воды: Quo vadit // Химия и технология воды. 1989. №9. С. 854 – 858.
3. Grochmann A., Gollasch R., Chumacher G. Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grandwasser in speyer, GWF. Wasser, Abwasser. 1989. S.441-447.
4. Badjo I., Mouches P. Technologies appropriées. L'exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au Togo. – 38, №3 – P.197– 206
5. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ “Рівненська друкарня”, 2002. 622 с.
6. Патент на корисну модель № 122635. Станція для біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод / П.Д. Хоружий, Я.Б. Мосійчук. 2018.
7. Christiansen P., Hollesen L., Harremoës P. Liquid film diffusion of reaction rate in submergen biofilters. Wat.Res., 1995, vol. 29, №1. Pp. 947-952.
8. Henze M., Harremoës P., Jansen C., Arwin E. Wastewater Treatment Springer. Berlin, New York, 2002. 430 p.
9. Хоружий В.П. Кінетика висхідного фільтрування води на установках з волокнисто-пінополістирольним завантаженням // Вісник інженерної академії України, №200. №2. С. 82-87.
10. Недашківський І.П. Очистка господарсько-побутових стічних вод на фільтрах з волокнисто-пінопластовим завантаженням : Дисертація канд. техн. наук: 05.23.04, Одес. держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса: 2015. 200 с.
11. Котельчук А.Л. Обґрунтування технології підготовки господарсько-побутових стічних вод для використання їх в системах зрошення : Дисертація канд. техн. наук: 06.01.02, Інститут гідротехніки і меліорації УААН. Київ: 2008. 159 с.
12. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с.

**П.Д. Хоружий, С.Р. Стасюк, Я.Б. Мосійчук**

**Методика инженерных расчетов биореакторов для биологической очистки природных и доочистки сточных вод**

Проаналізована система біологічної очистки води з різними домішками в ній при прямоточному русі води через послідовно взаємодіючі споруди: біореактор (БР) – контактний освітлювальний фільтр (КОФ). Розроблена методика інженерних розрахунків БР для забезпечення процесів насичення води киснем, видалення з води газів і біохімічного окислення домішок, що знаходяться в вихідній воді, з допомогою мікроорганізмів, іммобілізованих на волокнистому фільтрувальному завантаженні.

**П.Д. Хоружий, С.Р. Стасюк, Я.Б. Мосійчук**

**Методика инженерных расчетов биореакторов для биологического очищения природных и доочистки сточных вод**

Проаналізовано систему біологічного очищення води з різними домішками в ній при прямоточному русі води через послідовно взаємодіючі споруди: біореактор (БР) – контактний прояснювальний фільтр (КПФ). Розроблено методику інженерних розрахунків БР для забезпечення процесів насичення води киснем, видалення з води газів і біохімічного окислення домішок, що знаходяться у вихідній воді, за допомогою мікроорганізмів, іммобілізованих на волокнистому фільтрувальному завантаженні.

DOI: 10.31073/mivg201801-121

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/121>

UDC 628.16:552.546

## МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКІВ БІОРЕАКТОРІВ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ І ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

П.Д. Хоружий<sup>1</sup>, док. техн. наук, С.Р. Стасюк<sup>2</sup>, Я.Б. Мосійчук<sup>3</sup><sup>1</sup>Інститут водних проблем і меліорації НААН Київ, Україна; e-mail: petro1939@bigmir.net<sup>2</sup>Інститут водних проблем і меліорації НААН Київ, Україна; e-mail: sr-stasyuk@ukr.net<sup>3</sup>Інститут водних проблем і меліорації НААН Київ, Україна; e-mail: y.mosiichuk@gmail.com

**Анотація.** Проаналізовано систему біологічного очищення води з різними домішками в ній при прямоточному русі води через послідовно взаємодіючі споруди: біореактор (БР) – контактний прояснювальний фільтр (КПФ). Розроблена методика інженерних розрахунків БР для забезпечення процесів насичення води киснем, видалення з води газів та біохімічного окиснення домішок, що перебувають у вихідній воді, за допомогою мікроорганізмів, іммобілізованих на волокнистому фільтрувальному завантаженні.

**Ключові слова:** біореактор, біологічна плівка, волокнисте завантаження, концентрація субстрату, пористість завантаження, якість води

**Постановка задачі.** Для інтенсифікації процесів очистки природних і стічних вод у системах сільськогосподарського водопостачання і водовідведення запропоновано [1] низку заходів, одними з яких є використання біологічних методів очищення води за допомогою прикріплених гідробіонтів у біореакторах з тонковолокнистим завантаженням, а також сил гравітації при висхідному русі скоагульованої води через плаваюче фільтрувальне завантаження.

Уперше підняв питання про доцільність застосування мікробіологічних методів для очищення природних вод професор П.І. Гвоздяк [2], який стверджує, що мікробіологічним методом можна очистити будь-яку забруднену воду, значно підвищити ефективність очищення води, поліпшити якість очищеної води та зменшити її собівартість.

Нині біологічні методи широко застосовуються для очищення природних і доочищення стічних вод [3-5]. При біологічному методі знезалізнення підземних вод специфічні залізобактерії *Gallionella ferruginea* завдяки своїй каталітичній дії швидко окиснюють  $Fe^{2+}$ , а отриманий гідроксид заліза  $Fe(OH)_3$  накопичують у компактній формі, що значно збільшує брудомісткість КПФ і тривалість фільтроциклу.

**Особливості роботи установки з БР і КПФ.** Водоочисна установка для очищення природних або доочищення стічних вод (рис. 1) працює так [6]. Вихідна вода по трубі 1-а через аератор 2 подається на БР з волокнистим завантаженням 4, що закрі-

плюється між колосниковими решітками 5. При розбризкуванні води в аераторі 2 на дрібні крапельки і падіння їх з висоти не менше 0,5 м вода насичується киснем, що використовується мікроорганізмами іммобілізованими на волокнистому завантаженні, для окиснення домішок, що знаходяться у вихідній воді.

БР виконує такі функції:

- біохімічне окиснення домішок, що перебувають у вихідній воді;
- видалення з води газів для виключення пухирцевої кольматації у підфільтровому просторі 8 КПФ;
- забезпечення постійної швидкості фільтрування води протягом фільтроциклу завдяки підвищенню рівня води в ньому при зміні втрат напору на КПФ від  $h_{\phi,0}$  (при чистому завантаженні) до  $h_{\phi,max}$  (у кінці фільтроциклу).

На КПФ 7 відбувається глибоке очищення води при її висхідному русі через пінополістирольне завантаження 11. У підфільтровому просторі цього фільтра 8 накопичується осад з гідроксидної групи (при очистці природних вод) або активний мул (при доочищенні стічної води), який додатково бере участь в очищенні води, яка після висхідного фільтрування через пінополістирольне завантаження 11 збирається ковпачковим дренажем 12 і по трубопроводу 15 відводиться для подальшого використання.

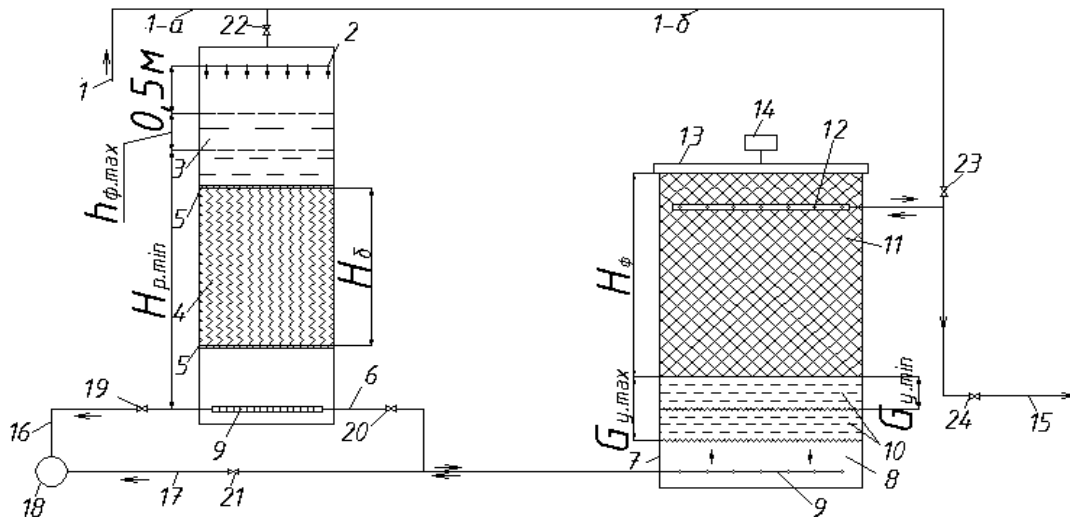
Очищена вода відповідає нормативним показникам для фільтра даної конструкції і при даній швидкості фільтрування води  $V_{\phi}$ , коли питома брудомісткість КПФ знаходиться

© П.Д. Хоружий, С.Р. Стасюк, Я.Б. Мосійчук, 2018

у межах між  $G_{\delta, \min}$  до  $G_{\delta, \max}$ . Питомою брудомісткістю фільтра для даної швидкості фільтрування води називається кількість осаду, що припадає на  $1 \text{ м}^2$  площі фільтра,  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

При досягненні величини  $G_{\delta, \max}$  і відповідних їй втрат напору у завантаженні  $h_{\phi, \max}$  (рис. 1) КПФ необхідно промивати. Для цього

закривають засувки 20, 22 і 24 та відкривають засувки 21 і 23. Промивна вода, рухаючись зверху вниз через пінополістирольне завантаження 11 вимиває з підфільтрового простору надлишок осаду  $\Delta G = G_{\delta, \max} - G_{\delta, \min}$  і виносить його через дренажну систему 9 і трубопровід 17 у каналізаційну трубу 18.



**Рис. 1. Технологічна схема установки для очищення природних або доочищення стічних вод:**

- 1 – подача вихідної води; 1-а – на БР; 1-б – для промивки КПФ; 2 – аератор; 3 – БР;  
4 – тонковолокнисте завантаження; 5 – колосникові решітки; 6 – відведення води на КПФ; 7 – КПФ;  
8 – підфільтровий простір; 9 – дренажно-водорозподільча система; 10 – осад (активний мул);  
11 – плаваюче пінополістирольне фільтрувальне завантаження; 12 – ковпачковий дренаж;  
13 – кришка; 14 – вантуз; 15 – відведення очищеної води; 16 – скидання осаду при промивці БР;  
17 – те саме, при промивці КПФ; 18 – каналізаційна труба; 19 – 24 – засувки

Промивку КПФ з даною інтенсивністю  $q_{np}$  необхідно виконувати протягом розрахункового часу  $t_{np}$ , щоб забезпечити нормативну якість фільтрованої води в наступному фільтроциклі його роботи.

**Мета досліджень** – розробити методику математичного моделювання процесів біологічного очищення природних і стічних вод на біореакторах та методи інженерних розрахунків цих споруд для визначення їх оптимальних конструктивних і технологічних параметрів.

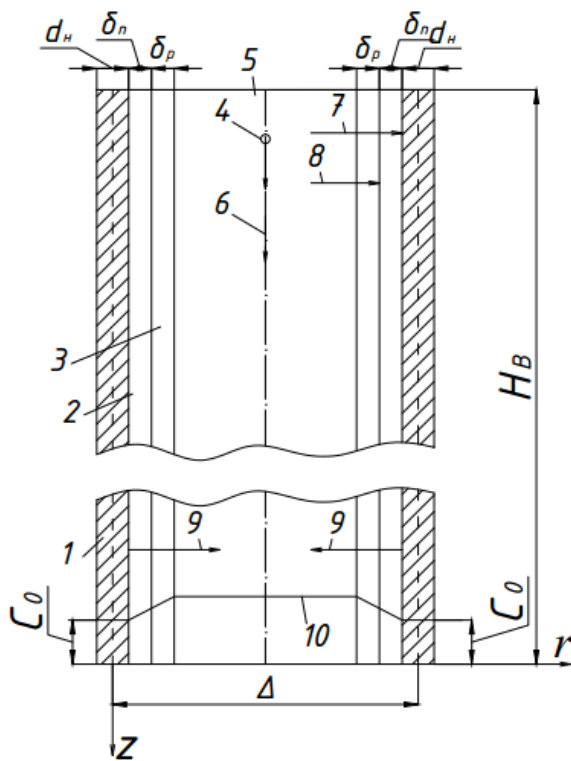
**Принцип роботи біореактора.** Мікроорганізми, що населяють біоплівку, яка утворюється на поверхні ниток волокнистого завантаження, окиснюють речовини, що знаходяться у вихідній воді, киснем повітря, отримуючи при цьому енергію для своєї життєдіяльності (рис. 2).

Після інтенсивної аерації вихідна вода надходить в БР і рівномірно розподіляється

між нитками волокнистого завантаження, обтікаючи їх поверхню на якій утворюється біоплівка з аеробними мікроорганізмами. Одночасно відбуваються такі процеси як адгезія, сорбція, дифузія, деструкція, окиснення тощо, унаслідок чого протікає швидке видалення речовин, що окиснюються, та утворення нових речовин [7-9].

Математична модель та алгоритм інженерних розрахунків БР. Для математичного описання процесів очищення води на БР потрібно встановити баланс зміни концентрації забруднень у біоплівці, рідкій плівці та об'ємі вихідної води, що знаходиться між волокнистими нитками та рухається в ньому зверху вниз (рис. 2).

Навколо кожної волокнистої нитки 1 діаметром  $d_n$  утворюється біологічна плівка 2 товщиною  $\delta_n$ , а біля поверхні біоплівки утворюється тонкий ламінарний шар 3 (рідка плівка) товщиною  $\delta_p$ .



**Рис. 2. Схема обміну речовин в елементарному шарі БР з волокнистим завантаженням:**

**1** – волокнисті нитки завантаження;

**2** – біологічна плівка; **3** – рідка плівка; **4** – домішки у вихідній воді; **5** – вихідна вода; **6** – напрямок руху води; **7** – надходження домішок до біоплівки; **8** – надходження кисню; **9** – видалення з біоплівки продуктів біологічного очищення води;

**10** – еюра розподілу концентрації забруднень;

$H_B$  – довжина ниток волокнистого завантаження;  $d_n$  – діаметр волокон;  $\delta_n$  і  $\delta_p$  – товщина відповідно біоплівки і рідкої плівки;  $\Delta$  – відстань між осями ниток у волокнистому завантаженні

Площа біоплівки в 1 м БР визначається за формулою:

$$F_{\delta} = \pi d_n N, \text{ м}^2/\text{м} \quad (1)$$

де  $N$  – кількість ниток завантаження в БР, яка залежить від форми його поперечного перерізу (рис. 3) і відстані між осями ниток у волокнистому завантаженні  $\Delta$ :

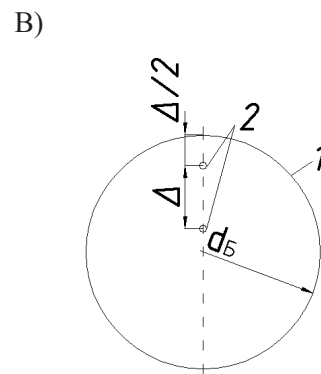
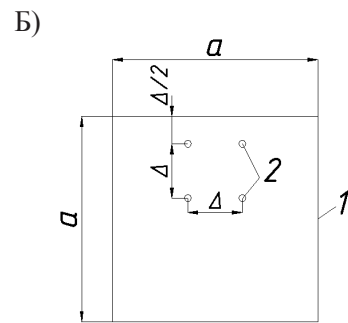
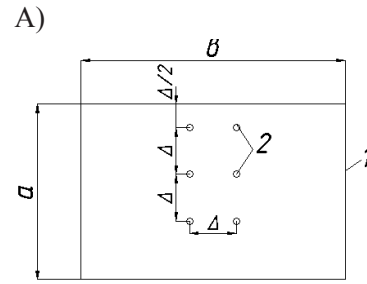
Коефіцієнти упакування БР волокнами визначаються за формулами [11]:

а) для БР прямокутної форми

$$\alpha = \frac{\omega_H N}{ab} \cdot \frac{(a-\Delta)(b-\Delta)}{\Delta \Delta} = \frac{\omega_H}{ab} \left( \frac{a}{\Delta} - 1 \right) \left( \frac{b}{\Delta} - 1 \right) \quad (2)$$

б) для БР квадратної форми

$$\alpha = \frac{\omega_H N}{a^2} = \frac{\omega_H}{a^2} \cdot \frac{(a-\Delta)^2}{\Delta^2} = \omega_H \left( \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{a} \right)^2 \quad (3)$$



**Рис. 3. Схеми рівномірного розміщення ниток волокнистого завантаження в поперечному перерізі БР:**

**A** – прямокутної форми; **Б** – квадратної форми;

**В** – циліндричної форми; **1** – корпус БР;

**2** – нитки волокнистого завантаження

в) для БР циліндричної форми

$$\alpha = \omega_H \left( \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{d_B} \right)^2 \quad (4)$$

У цих формулах:  $a$  і  $b$  – розміри сторін поперечного перерізу БР прямокутної форми;  $d_B$  – діаметр БР циліндричної форми;  $\Delta$  – відстань між осями ниток волокнистого завантаження;  $\omega_H$  – площа поперечного перерізу однієї нитки;  $N$  – кількість ниток у БР.

Пористість волокнистого завантаження визначається за формулою:

$$P = 1 - \alpha \quad (5)$$

У процесі фільтрування води пористість БР буде змінюватись за виразом

$$P_i = 1 - \omega_{H_i} / \Delta^2 = P_0 - \Delta P_v \quad (6)$$

де  $P_0$  і  $P_t$  – пористість БР відповідно на початку фільтроциклу і через  $t$  годин його роботи;  $\Delta P_t$  – зменшення цієї пористості на момент часу  $t$  унаслідок обростання ниток біоплівками;  $\omega_{Ht}$  – середня площа поперечного перерізу однієї нитки в цей момент.

Величина  $\Delta P_t$  визначається за формулою:

$$\Delta P_t = \pi/4 (\delta_{nt}/\Delta)^2, \quad (7)$$

де  $\delta_{nt}$  – товщина біологічної плівки навколо нитки на момент часу  $t$ .

Оскільки розміри БР:  $a$ ,  $b$  і  $d_0$  (рис. 3) значно більші величини  $\Delta$ , то після алгебраїчних перетворень площу біоплівки в 1 м БР можна визначати за формулою:

$$F_0 = \frac{\pi d_n \omega_0}{\Delta^2}, \quad (8)$$

де  $\omega_0$  – площа поперечного перерізу БР, м<sup>2</sup>.

Потрібна кількість ниток в БР площею  $\omega_0$  з прийнятою відстанню між осями ниток  $\Delta$  визначається за формулою:

$$N = \omega_0 / \Delta^2, \quad (9)$$

або при відомій кількості ниток  $N$  середня відстань між їх осями має бути:

$$\Delta = \sqrt{\omega_0 / N} \quad (10)$$

При складанні рівнянь матеріального балансу, записаних відносно концентрації забруднень, зміни яких відбуваються в БР, приймаються припущення, описані у спеціальній літературі [6, 7], що дало можливість отримати таку залежність:

$$P \frac{\partial C}{\partial t} = -V_\phi \frac{\partial C_e}{\partial z} - \frac{KcF_0}{\omega_0} (C_e - C_0), \text{ г/(дм}^3\text{год)} \quad (11)$$

де  $V_\phi$  – швидкість фільтрування води в БР, м/год;  $P$  – пористість фільтрувального завантаження БР;  $C_e$  і  $C_0$  – концентрація субстрату у вихідній воді, відповідно у порових каналах БР і на межі рідкої плівки та біоплівки, г/м<sup>3</sup>;

$\frac{\partial C}{\partial t}$  і  $\frac{\partial C_e}{\partial z}$  – зміна концентрації субстрату, відповідно у часі та по шляху фільтрування води в БР;  $Kc$  – коефіцієнт масопереносу субстрату в рідкій плівці, м/год;  $F_0$  – загальна площа біоплівки БР висотою 1 м, м<sup>2</sup>/м;  $\omega_0$  – площа поперечного перерізу БР, через яку рухається вихідна вода, м<sup>2</sup>.

Пористість волокнистого завантаження визначається за формулою (6), а площа біоплівки в 1 м БР – за формулою (8).

Отже, для БР з волокнистим фільтрувальним завантаженням можна записати:

$$(1 - \frac{\omega_{Ht}}{\Delta^2}) \frac{\partial C_e}{\partial z} - V_\phi \frac{\partial C_e}{\partial z} - \frac{KcF_0}{\omega_0} (C_e - C_0), \text{ г/(дм}^3\text{год)} \quad (12)$$

У результаті розв'язання рівняння (12) відносно  $C_e$  отримано залежність для визначення концентрації субстрату по висоті фільтра  $H_0$ :

$$C_{e(z,t)} = C_0 e^{-z} \quad (13)$$

де  $C_0$  – концентрація субстрату у вихідній воді на вході в БР, г/м<sup>3</sup>;  $z$  – параметр, який характеризує інтенсивність зміни концентрації субстрату на межі поділу плівок по висоті БР:

$$z = z \frac{A_0}{V_\phi}, \quad (14)$$

де  $A_0$  – параметр, що характеризує умови біосорбції в БР

$$A_0 = \frac{Kc\pi d_n}{\Delta^2} \left(1 - \frac{C_0}{C_e}\right), \text{ год}^{-1} \quad (15)$$

На виході з БР  $z = H_0$ . Тоді:

$$C_\phi = C_0 e^{-H_0}; \quad (16)$$

$$H_0 = H_0 \frac{A_0}{V_\phi} \quad (17)$$

Записавши залежність (17) відносно  $H_0$ , отримаємо такі вирази для визначення необхідної висоти  $H_0$  Нб або при відомій величині  $H_0$  для визначення якості води  $C_\phi$ , що виходить з БР:

$$H_0 = \frac{V_\phi}{A_0} \ln \frac{C_0}{C_\phi}, \text{ м} \quad (18)$$

$$C_\phi = C_0 / \exp \frac{A_0 H_0}{V_\phi}, \text{ г/м}^3 \quad (19)$$

Як бачимо з формули (18), необхідна робоча висота завантаження БР (рис.1) залежить від розрахункової глибини очищення води  $C_0/C_\phi$ , прямо пропорційна швидкості фільтрування води  $V_\phi$  і обернено пропорційна величині параметра  $A_0$ , що визначається за формулою (15), яка після перетворень має вигляд:

$$A_0 = AB, \text{ год}^{-1} \quad (20)$$

де  $A$  – параметр, що характеризує процес масопереносу між волокнистими нитками БР:

$$A = Kc \left(1 - \frac{C_0}{C_e}\right), \text{ м/год} \quad (21)$$

$B$  – параметр, що характеризує геометричне середовище волокнистого завантаження і дорівнює відношенню довжини лінії навколо однієї нитки завантаження до квадрату відстані між їх осями:

$$B = \frac{\pi d_n}{\Delta^2}, \text{ м}^{-1} \quad (22)$$

Отже, із збільшенням кількості ниток в одиниці об'єму волокнистого завантаження БР величина  $\Delta$  буде зменшуватись, тобто параметри  $B$  та  $A_0$  будуть збільшуватись, а потрібна висота БР згідно з формулою (18) буде меншою.

**Інженерні розрахунки БР.** БР виконують роль повітровідокремлювачів, площу яких необхідно приймати з розрахунку швидкості руху низхідного потоку води не більше 0,05 м/с та тривалості перебування води в ньому не менше 1 хвилини [12].

Розрахунки ведуть у такій послідовності:

- для розрахункової витрати води через БР  $Q_p$ , м<sup>3</sup>/год, прийнятої кількості ниток волокнистого завантаження  $N$  і площі поперечного перерізу однієї нитки  $\omega_n$ , визначаємо площу поперечного перерізу БР:

$$\omega_g = \frac{Q_p}{180} + N\omega_n, \text{ м}^2 \quad (23)$$

і швидкість руху води в БР:

$$V\phi = Q_p / \omega_g, \text{ м/год} \quad (24)$$

- для забезпечення необхідного часу перебування води в БР тривалістю  $tp \geq 1 \text{ хв}$  його висота повинна бути не меншою (рис. 1)

$$H_{p,\min} \geq \frac{Q_p t_p}{60\omega_g}, \text{ м} \quad (25)$$

При граничній швидкості руху води в БР  $V_{sp} = 0,05 \text{ м/с}$  ця висота має бути не меншою  $H_{p,\min} \geq 3 \text{ м}$ ;

- для попередніх розрахунків приймаємо орієнтовні значення вихідних констант і коефіцієнтів, визначених у спеціальній літературі [7, 8]:  $Kc = 0,025 - 0,080 \text{ м/год}$ ;  $A = 0,01 - 0,04 \text{ м/год}$ ;  $\delta_n = 0,1 - 0,2 \text{ мм}$ ;

- визначаємо параметр  $B$  за формулою (22), параметр  $A_0$  за формулою (20) та величину  $H_g$  за формулою (18);

- за даними лабораторних досліджень знаходимо максимальну питому брудомісткість БР, тривалість фільтроциклу у зоні накопичення забруднень та тривалість промивки БР при даній її інтенсивності;

- уточнюємо розрахункові величини  $H_g$  і  $C_\phi$  та ефективність очищення води на БР.

### Висновки.

1. Необхідна робоча висота завантаження БР залежить від глибини очищення води  $C_0/C_\phi$ , прямо пропорційна швидкості фільтрування води  $V_\phi$  і обернено пропорційна кількості ниток в одиниці завантаження БР.

2. Розроблена методика інженерних розрахунків БР дозволяє визначати їх раціональні конструктивні і технологічні параметри, виходячи з вимог забезпечення необхідного часу перебування води в БР при граничній швидкості низхідного руху води та розрахункової ефективності очищення води від домішок.

### Бібліографія

1. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.
2. Гвоздяк П.И. Микробиология и биотехнология очистки воды: Quo vadit // Химия и технология воды. 1989. №9. С. 854-858.
3. Grochmann A., Gollasch R., Chumacher G. Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grandwasser in speyir; GWF. Wasser, Abwasser. 1989. S. 441-447.
4. Badjo I., Mouches P. Technologies appropriées. L'exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au Togo. – 38, №3 – P. 197-206
5. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
6. Патент на корисну модель № 122635. Станція для біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод/П.Д. Хоружий, Я.Б. Мосійчук. 2018.
7. Christiansen P., Hollesen L., Harremoës P. Liquid film diffusion of reaction rate in submergen biofilters. Wat.Res., 1995, vol. 29, №1. Pp. 947-952.
8. Henze M., Harremoës P., Jansen C., Arwin E. Wastewater Treatment Springer. Berlin, New York, 2002. 430 p.
9. Хоружий В.П. Кінетика висхідного фільтрування води на установках з волокнисто-пінопістирольним завантаженням // Вісник інженерної академії України, №200. №2. С. 82-87.
10. Недашківський І.П. Очистка господарсько-побутових стічних вод на фільтрах з волокнисто-пінопластовим завантаженням : Дисертація канд. техн. наук: 05.23.04, Одес. держ. акад. буд-ва та архітектури. Одеса: 2015. 200 с.
11. Котельчук А.Л. Обґрунтування технології підготовки господарсько-побутових стічних вод для використання їх в системах зрошення : Дисертація канд. техн. наук: 06.01.02, Інститут гідротехніки і меліорації УААН. Київ: 2008. 159 с.

12.ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с.

### References

1. Horuzhy, P.D., Khomutetska, T.P., & Horuzhy, V.P. (2009). *Resursozberihayuchi tekhnolohiyi vodopostachannya [Resource-saving water supply technologies]*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
2. Gvozdyak, P.I. (1989). *Mikrobiologiya i biotekhnologiya ochistki vody: Quo vadih [Microbiology and biotechnology of water purification: Quo vadih]*. *Khimiya i tekhnologiya vody – Chemistry and technology of water*, 9, 854-858 [in Ukrainian].
3. Grochmann, A., Gollasch, R., & Chumacher, G. (1989). *Biologische enteisenung und entmanganung eines methanhaltigen grundwasser in Speyir [Biological de-icing and demanganization of methane-containing groundwater in Speyir]*. *GWF. Wasser, Abwasser – GWF. Water, Sewage*, 441-447 [in German].
4. Badjo, I., & Mouches, P. *Technologies appropriées. The exemple d'une grande installation de deferrisation biologique au Togo*. 38, 3, 197-206 [in English].
5. Kovalchuk, V.A. (2002). *Ochystka stichnykh vod [Waste water treatment]*. Rivne: VAT «Rivnens'ka drukarnya» [in Ukrainian].
6. Horuzhy, P.D., & Mosiychuk, Ya.B. (2018). *Patent na korysnu model' №122635. Stantsiya dlya biolohichnoho ochyshchennya hospodars'ko-pobutovykh stichnykh vod [Patent for Utility Model №122635. Station for biological treatment of household wastewater]*. Kyiv: Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrayiny [in Ukrainian].
7. Christiansen, P., Hollesen, L., & Harremoes, P. (1995). *Liquid film diffusion of reaction rate in submergen biofilters*. *Wat. Res.*, vol. 29, 1, 947-952 [in English].
8. Henze, M., Harremoes, P., Jansen, C., & Arwin, E. (2002). *Wastewater Treatment Springer*. Berlin, New York [in English].
9. Horuzhy, V.P. (2004). *Kinetyka vyskhidnoho fil'truvannya vody na ustanovkakh z voloknysto-pinopolistyrol'nyim zavantazhenniam [Kinetics of ascending filtering of water at installations with fiber-foam polystyrene loading]*. *Visnyk inzhenernoyi akademiyi Ukrayiny – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 82-87 [in Ukrainian].
10. Nedashkivsky, I.P. (2015). *Ochystka hospodars'ko-pobutovykh stichnykh vod na fil'trakh z voloknysto-pinoplastovym zavantazhenniam [Cleaning of household sewage on filters with fiber-foam-type loading]*. *Candidate's thesis*. Odessa: State Academy of Civil Engineering and Architecture [in Ukrainian].
11. Kotelchuk, A.L. (2008). *Obgruntuvannya tekhnolohiyi pidhotovky hospodars'ko-pobutovykh stichnykh vod dlya vykorystannya yikh v systemakh zroshennya [Substantiation of technology for the preparation of household sewage for their use in irrigation systems]*. *Candidate's thesis*. Kyiv: Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation of UAAS [in Ukrainian].
12. ДБН В.2.5-74:2013. (2013). *Vodopostachannya. Zovnishni merezhi ta sporudy [Water supply. External networks and facilities]*. Kyiv: Minrehion Ukrayiny [in Ukrainian].

**П.Д. Хоружий, С.Р. Стасюк, Я.Б. Мосийчук**

### **Методика инженерных расчетов биореакторов для биологической очистки природных и доочистки сточных вод**

Проанализирована система биологической очистки воды с различными примесями в ней при прямооточном движении воды через последовательно взаимодействующие сооружения: биореактор (БР) – контактный осветлительный фильтр (КОФ). Разработана методика инженерных расчетов БР для обеспечения процессов насыщения воды кислородом, удаление из воды газов и биохимического окисления примесей, находящихся в исходной воде, с помощью микроорганизмов, иммобилизованных на волокнистой фильтровальной загрузке.

**P.D. Horuzhy, S.R. Stasiuk, Ya.B. Mosiychuk**

### **Method of engineering calculations of bioreactors for biological treatment of natural water and advanced treatment of sewage**

The system «bioreactor (BR) – contact clarifying filter (CCF)» of biological water purification with various impurities in it in the case of direct water flow through successively interacting structures is analyzed. The method of engineering calculations of the BR that provides saturation of water with oxygen, gases removal from water, and biochemical oxidation of impurities present in the input water, with the help of microorganisms immobilized on fibrous filtering load, is developed.



DOI: 10.31073/mivg201801-115

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/115>

УДК 621.501.72

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОНЦЕПЦІЇ СИСТЕМНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ЗА БАСЕЙНОВИМ ПРИНЦИПОМ

П.І. Ковальчук<sup>1</sup> док. тех. наук, Р.Ю. Коваленко<sup>2</sup>, Г.А. Балихіна<sup>3</sup> канд. тех. наук

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: volokovalchuk@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: romchik89@ukr.net

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: maslova-anna@ukr.net

***Анотація.** Наведено методичні особливості формування системи управління водними ресурсами за басейновим принципом. Системне управління водокористуванням розглядається як розвиток інтегрованого управління водними ресурсами за такими напрямками: ієрархічний підхід, інтегрований підхід за територіальним принципом, інтегрований підхід за видами управління, інтегрування за екологічними та економічними цілями управління. Подано структурно-функціональну схему системного управління. При реалізації Планів управління водними ресурсами в басейні ріки рекомендується використовувати інформаційні технології.*

***Ключові слова:** системне управління, інтегроване управління, ієрархічний підхід, економічні та екологічні критерії, інформаційні технології.*

**Постановка задачі.** В останні десятиріччя, стосовно до Директиви ЄС [1], значного розвитку набуло інтегроване управління водними ресурсами за басейновим принципом [2-6]. В Україні державна політика націлена також на впровадження інтегрованих підходів до управління водними ресурсами [7], складання та реалізацію Планів управління річковим басейном [8]. У наукових працях [5, 6] є усвідомлення необхідності впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами, за якого річковий басейн виступає як основна одиниця управління і який є «системою з усталеними екологічними, соціальними та економічними зв'язками» [5]. Проте інтегроване управління передбачає сумісне управління або за ресурсами, або за окремими зв'язками, цілями і т. д., тобто за окремими видами управління. У методології системного аналізу [9], поряд з окремими видами управління, розробляється методологія цілісного управління складними системами. Запропоноване системне управління [9] забезпечує послідовність процедур вибору і реалізації системно взаємопов'язаних рішень і дій, узгоджених за цілями, задачами, термінами, ресурсами для досягнення певних змін у керованому об'єкті [9]. Системне управління розвивалось як інструментарій управління водним режимом територій [10], для розробки інформаційних технологій комплексного використання водних ресурсів [11], були застосовані імітаційні моделі для оцінки стану та перспектив розвитку річкового басейну [12].

Нами розглядається системне управління як розвиток інтегрованого управління, адаптації системних принципів для управління водними ресурсами в басейні ріки.

Проте відсутня концепція системного управління, яка дає можливість узагальнити системні принципи водокористування в басейні ріки, ширше використовувати системний аналіз, розглянути структурно-функціональні особливості річкового басейну, структуру його моніторингу, як основу для прийняття рішень, розвивати і узагальнювати принципи та методи системного моделювання, прогнозування і управління річковим басейном.

**Мета та задачі дослідження.** Мета дослідження – дослідити методологічні особливості концепції системного управління для розвитку і реалізації інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Для досягнення мети було вирішено такі задачі:

- охарактеризовано інтегровані підходи до управління водними ресурсами в басейні ріки, їх реалізацію в Плани управління річковим басейном;
- розроблено структурно-функціональну схему системного управління, яка розглядає басейн ріки як цілісну систему та об'єкт управління в умовах сталого розвитку, адаптивний підхід до управління [12];
- запропоновано інформаційні технології для реалізації системи підтримки прийняття рішень.

**Методологічні особливості концепції системного управління при використанні інтегрованих підходів.** Пропонуються основні види інтегрованих підходів при управлінні річковим басейном, зокрема: ієрархічний підхід; інтегрований підхід за басейновим принципом; інтегрування за видами управлінь; інтегрування за економічними та екологічними цілями управління.

**Інтегроване управління за рівнями ієрархії.** Басейн розглядається як цілісний об'єкт, соціо-природно-технічна система, в якій інтегрування передбачає композицію (поєднання) та декомпозицію (окремий розгляд) підсистем в ієрархічному процесі прийняття рішень. Управління підсистемами здійснюється по вертикалі (ієрархія підсистем) та по горизонталі (всередині і між підсистемами) [6, 10].

Ієрархічний підхід передбачає підпорядкованість підсистем нижнього рівня ієрархії підсистемам більш високого рівня. Розглядається трирівнева система, в якій: на першому рівні ієрархії – технологічне управління, що забезпечує технічні та технологічні сучасні рішення в процесі функціонування водогосподарського комплексу в басейні ріки; на другому рівні ієрархії – економічна та екологічна підсистема водокористування, що задають цілі ефективного економічного функціонування об'єкта та досягнення його доброго екологічного стану; на третьому рівні ієрархії – організаційна підсистема (Кабінет міністрів України, Держводагентство, БУВР), місцеві органи влади, які забезпечують правові та організаційні взаємовідносини між водопостачальниками та водоспоживачами.

**Інтегрований підхід до управління ресурсами** розглядається як «процес, що сприяє погодженому розвитку й управлінню водою, землею й іншими ресурсами з метою досягнення максимального соціально-економічного благополуччя на справедливій основі без заповдіння збитку стійкості життєво-важливим екосистемам» [3].

В умовах змін клімату інтегроване управління за ресурсами забезпечує оцінювання тенденції розвитку меліорації (сумісне використання водних і земельних ресурсів) в нових кліматичних умовах.

**Інтегрований підхід за видами управління** в басейні ріки здійснюється на основі скоординованих дій для досягнення певних корисних змін або перетворень у керованій системі. У системі басейну розрізняють поєднання таких видів управління: управління поведінкою, управління властивос-

тями, управління структурою, управління розвитком [9, 10].

Найбільш ефективним підходом для досягнення мети управління є системне управління, що в системі річкового басейну забезпечує цілеспрямовану зміну екологічних та економічних цілей його функціонування, координацію інтегрованих підходів та видів управління в їх ієрархічній підпорядкованості. Басейн ріки розглядається як система  $S(t)$ , що характеризується множиною об'єктів:

$$S(t) = S\{X(t), Y(t), \Sigma(t), Q(t), Z(t), L(t), F(t)\}, \quad (1)$$

де  $X(t)$  – множини внутрішніх станів системи, що характеризуються певними системоутворюючими відношеннями і зв'язками. Стани системи розвиваються в часі  $t$  на деякому інтервалі  $T$ , на який складаються плани управління річковим басейном;  $Y(t)$  – множина структур зовнішнього середовища;  $\Sigma t$  – множина структур системи (неперервна чи дискретна), що характеризує відношення між елементами, між елементами і навколишнім середовищем;  $Q(t)$  – множина, що характеризує водні об'єкти на території басейну, їх якісні та кількісні характеристики;  $Z(t)$  – земельні ресурси, інші об'єкти сільського господарства, комунальні підприємства, промислові та інші підприємства, що є водокористувачами, можуть впливати на водні ресурси, змінювати кількість та якість;  $F(t)$  – функції (критерії оцінки) системи  $S$ , за якими оцінюються цілі функціонування системи, економічна, екологічна, технологічна ефективність взаємодії елементів системи з навколишнім середовищем упродовж інтервалу часу  $T$ , заданого або прогнозованого інтервалу планування;  $L(t)$  – технічні, технологічні, організаційні ресурси, які використовуються в процесі управління.

Динаміка розвитку стану басейну ріки в процесі системного управління описується рівняннями:

$$X_K(t+1) = A(X_K(t), Y_K(t), \Sigma_K(t), U_K(t)), \quad (2)$$

де значення показників у момент часу  $t \in T$  визначається:

$$X_K(t) \in X; Y_K(t) \in Y; \Sigma_K(t) \in \Sigma; U_K(t) \in U, \quad (3)$$

$X$  – множина внутрішніх станів системи;  $Y$  – множина структур зовнішнього середовища;  $\Sigma$  – множина структур системи;  $U$  – множина управлінь системи;  $A$  – оператор трансформації (розвитку) басейну ріки.

Множина управлінь  $U(t)$  складає об'єднання множин:

управління властивостями

$$U_1(t)=U_1(t,Q(t),Z(t),L(t),X(t)); \quad (4)$$

управління структурою

$$U_2(t)=U_2(t,\Sigma(t),Q(t),Z(t),L(t)); \quad (5)$$

системного управління річковим басейном

$$U_3(t)=U(t,X(t),\Sigma(t),Q(t),Z(t),L(t),F(t)). \quad (6)$$

**Інтегрування за екологічними та економічними цілями управління в умовах сталого розвитку** передбачає відповідно до Директиви ЕС [9], формулювання системи екологічних та економічних цілей, досягнення яких необхідно в процесі управління.

При оперативному управлінні пропонується підхід для інтегрованого управління, в результаті реалізації якого економічний критерій (економія водних ресурсів) необхідно спрямувати до максимального значення, а показники якості води упродовж часу забору

води на народногосподарські потреби залишаються в межах допустимих (нормативних) значень (в межах концентрацій  $\leq$  ГДК).

$$\begin{cases} F^* - F_1(x,t) \rightarrow \max; \\ F_2(x,t) \leq C_1(t); \\ \dots\dots\dots \\ F_p(x,t) \leq C_p(t) \end{cases}, \quad (7)$$

де  $F_2(x,t), \dots, F_p(x,t)$  – екологічні критерії,  $C_1(t), \dots, C_p(t)$  – нормативні обмеження, згідно з чинними нормативами.

**Структурно-функціональна схема концепції системного управління водокористуванням за басейновим принципом.** Концептуально системне управління водними ресурсами за басейновим принципом має відповідати порядку розробки планів управління [1] і здійснюватися за схемою (рис. 1).



**Рис. 1. Структурно-функціональна схема системного управління водними ресурсами за басейновим принципом**

У структурно-функціональній схемі річковий басейн розглядається як система та об'єкт управління. Важливими складовими системного управління є моніторинг, який забезпечує інформаційну основу аналізу для прийняття рішень при промивках річок [13]. Система підтримки прийняття рішень побудована за принципом інтегрування економічних і екологічних цілей в умовах сталого розвитку басейну ріки [14]. Інтегровані підходи реалізуються в структурно-функціональній схемі при розробці Планів управління річковим басейном, при реалізації завдань моніторингу, формалізації окремих задач забезпечення екологічних та економічних цілей, для умов цілісного управління річковим басейном на основі інформаційних технологій.

**Інформаційні технології як інструментарій для системного управління за басейновим принципом.** Для реалізації планів управління розробляються інформаційні та інформаційно аналітичні системи підтримки прийняття рішень. Структура інформаційної технології на концептуальному, логіко-математичному і фізичному рівнях передбачає вдосконалення оцінки якості вод у системі моніторингу, поєднання методу управління подачі води споживачам із процесом оздоровлення річок, забезпеченням сценарного аналізу варіантів управління за басейновим принципом з багатокритеріальною оптимізацією цих варіантів за еколого-економічними критеріями, що відображають умови сталого розвитку [15, 16, 17]. Інформаційна технологія має бути адаптована до умов басейну конкретної річки.

Розробка інформаційних технологій пов'язана з розробкою і використанням методів управління, математичних моделей та

програмних комплектів, що є предметом створення методичних вказівок з розробки Планів управління річковими басейнами.

Як приклад інформаційної технології пропонується технологія поліпшення екологічного стану русла р. Інгулець, забезпечення необхідної кількості та нормативної якості води для зрошення сільськогосподарських культур. Промивка русла здійснюється дніпровською водою, яка подається каналом Дніпро-Інгулець з Карачунівського водосховища [15]. Обсяг річної водоподачі з наступним скиданням складає більше 120 млн. куб. м., у тому числі 100 млн. куб. м. за рахунок підприємств Кривбасу.

Для еколого-економічного обґрунтування варіантів управління подачею води та промивкою ріки розробляються різні сценарії динаміки руху водного потоку та поширення забруднень. Сценарії оцінюються за еколого-економічними критеріями, оптимальне рішення стосовно системи управління визначається на основі багатокритеріальної оптимізації, зокрема за використанням принципу Парето.

Обґрунтована технологія здійснює подачу води малими витратами для запобігання виходу забруднень на заплаву.

До того ж на заплаві не відбувається накопичення відкладень, насичених небезпечними забруднювачами. У подальшому подається витрата 20 м<sup>3</sup>/с протягом меншого часу (10 діб), у зв'язку з чим відбувається економія води порівняно зі сценарієм І. Це дає змогу на деякому етапі, при перевищенні забруднюючих речовин у пункті забору біля ГНС Інгулецької зрошувальної системи, організувати, в межах виділеного ліміту води, другий імпульс (рис. 2).

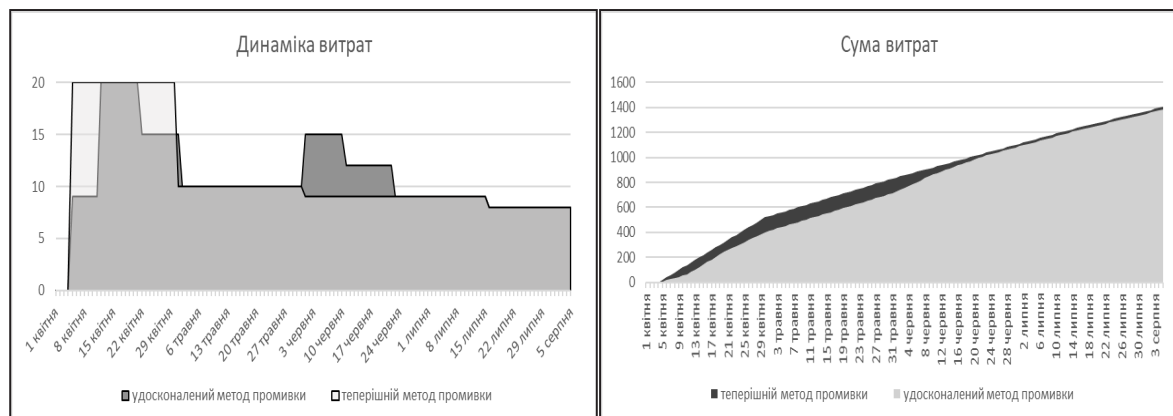
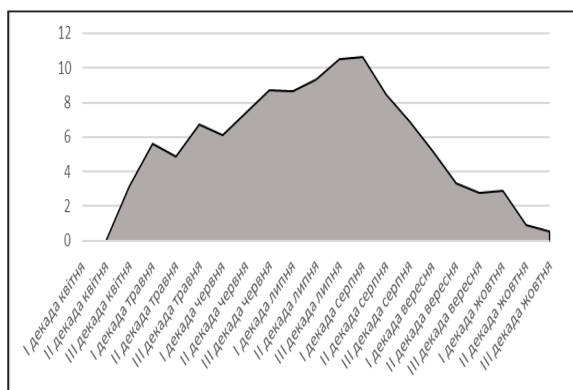


Рис. 2. Динаміка витрати води при різних методах управління промивкою

Другий імпульс подається після 1-го червня на основі даних моніторингу якості води в створі Інгулецької ГНС та потреб на зрошення (рис. 3). Якщо якість води перевищує рівень ГДК, імпульс подається для здійснення промивки протягом 10 діб витратами 15 м<sup>3</sup>/с, а



**Рис. 3. Середньодекадні за 2013-2017 рр. об'єми забору води на Інгулецьку зрошувальну систему**

в подальшому витратами 12 м<sup>3</sup>/с до суттєвого зниження рівнів концентрації ГДК показника.

**Висновки.** Запропоновані методологічні особливості концепції системного управління водокористуванням за басейновим принципом дозволяють розробляти заходи до Планів управління річковим басейном, виходячи із сучасних положень Директиви ЄС щодо забезпечення економічного зростання та досягнення доброго екологічного стану.

Концепція системного управління передбачає використання інтегрованих підходів для складання планів управління річковим басейном, а реалізацію цих планів слід здійснювати на основі інформаційних технологій сценарного аналізу та управління. У структурно-функціональній схемі показані обернені зв'язки для адаптивної реалізації планів управління річковим басейном. До того ж басейн розглядається як цілісна система з фіксацією меж, моніторинговими дослідженнями, внутрішніми і зовнішніми зв'язками, ресурсами та цілями управління.

#### Бібліографія

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal of the European Communities*. 22.12.2000, ENL327/1.
2. Сташук В., Яцик А. Україна на шляху до басейнового принципу управління водними ресурсами // *Водне господарство України*, 2007. № 4. С. 6–10.
3. Сташук В. А. Наукові засади управління водогосподарсько-меліоративним комплексом України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації» Київ, 2009. 36 с.
4. Інтегроване управління водними і земельними ресурсами на меліорованих територіях: монографія. Київ: Аграрна наука, 2016. 784 С.
5. Климчик О. М., Пінкіна Т. В., Пінкін А. А. Впровадження системи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом // *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. №4(45). С. 36–40
6. Dukhovny, V., Sokolov, V., Manthrithilake, H.: *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience. SIC ICWC, Tashkent (2009)*.
7. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» від 4 жовтня 2016 року № 1641-VIII.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 18 травня 2017 р. № 336 «Про затвердження Порядку розроблення плану управління річковим басейном».
9. Згуровський М.З., Панкратова Н. Д. *Основи системного аналізу*. Київ: Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.
10. Ковальчук П.І., Ковальчук В.П. Системне управління як розвиток інтегрованого управління водним режимом меліорованих територій // *Вісник НУВГП. Рівне*, 2015. Вип. 3(71). С. 19–23.
11. Sekhri A. Arezki, Hamdadou B. Djamilia, & Beldjilali C. Bouziane (2015). *AQUAZONE: A Spatial Decision Support System for Aquatic Zone Management. I.J. Information Technology and Computer Science, Vol.7, No.4*. Retrieved from <http://www.mecspress.org/ijitcs/ijitcs-v7-n4/IJITCS-V7-N4-1.pdf>
12. *Экологические системы. Адаптивная оценка и управление*. Под ред. К.С.Холинга. Москва: Мир., 1981. 396 с.

13. Seng Mah, D., Putuhena, F., N.A. bt Rosli. Modelling of river flushing and water quality in a tributary constrained by barrages. *Irrigation and Drainage Systems, Volume 25, Issue 4, pp 427–434 (2011).*

14. Порівняльний аналіз систем управління промивкою р. Інгулець на основі моделювання / Ковальчук В. П. та ін. // Міжнародна науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому дню води «Природа для води» 22.03.2018 р.: тези доп. Київ, С. 84-85.

15. Коваленко Р. Ю. Удосконалення управління промивкою річки Інгулець на основі сценарного моделювання // Меліорація і водне господарство. Київ: Аграрна наука, 2017. №106. С. 53–57

16. Kovalchuk P., Balykhina H., Demchuk O., Kovalchuk V. Modeling of water use and river basin environmental rehabilitation / Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT 2017: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції CSIT 2017. Львів: Видавництво «Вежа і Ко», 2017. Том 1. 468–472 p.

17. Kovalchuk Pavlo, Balykhina Hanna, Kovalenko Roman, Demchuk Olena, & Rozhon Viacheslav (2018). Information technology of the system control of water use within river basins. *Advances in Computer Science for Engineering and Education, 123–132.*

### References

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Official Journal of the European Communities. 22.12.2000, ENL327/1.*

2. Stashuk, V.A. & Yatsyk, A.V. (2007). *Ukraine na shlyahu do baseynovoho pryntsyphu upravlinnia vodnyimi resursamy [Ukraine is on the way toward the basin principle of water resources management]. Vodne hospodarstvo Ukrainy, 4, 6–10. [in Ukrainian].*

3. Stashuk, V.A. (2009). *Naukovi zacady upravlinnia vodohospodars'ko-melioratyvnym kompleksom Ukrainy [Scientific basis of the water industry management of Ukraine]. Candidate's thesis. Kyiv: IWPLR [in Ukrainian]*

4. *Integrovane upravlinnia vodnyimi i zemel'nymi resursamy na meliorovanykh terytoriiakh [Integrated management of water and land resources within reclaimed area]. (2016). Kyiv: Agrarna nauka. [in Ukrainian].*

5. Klymchuk, O. M., Pinkina, T. B. & Pinkin, A. A. (2018). *Vprovadzhennia systemy integrovanoho upravlinnia vodnyimi resursamy za baseynovym pryntsepom [Adaptation of the integrated water resources management system based on the basin principle]. Scientific Journal «Science Rise», 4(45), 36–40. [in Ukrainian].*

6. Dukhovny, V., Sokolov, V., Manthrithilake, H. (2009). *Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice. Central Asian Experience. Tashkent: SIC ICWC.*

7. *Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennia integrovanykh pidhodiv v upravlinni vodnyimi resursamy za baseynovym pryntsepom» vid 4 zhovtnia 2016 roky № 1641-VIII. [The Law of Ukraine «On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Implementation of Integrated approaches to the of Water Resources Management based on basin principle» of October 4, 2016, No. 1641-VIII] [in Ukrainian]*

8. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18 travnia 2017 roky № 336 «Pro zatverdzhennia Poriadku rozroblennia planu upravlinnia richkovym baseynom» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 18, 2017, No. 336 «On Approval of the Procedure for the Development of the River Basin Management Plan»].*

9. Zghurovs'kyi, M.Z., & Pankratova, N. D. (2007). *Osnovy systemnoho analizu [Fundamentals of system analysis]. Kyiv: Vydavnycha grupa BHV. [in Ukrainian].*

10. Kovalchuk, P.I., & Kovalchuk V.P. (2015) *Systemne upravlinnia yak rozvytok integrovanoho upravlinnia vodnym rezhytom meliorovanykh terytorii [System management as the integrated management development of the water regime of the reclaimed area]. Visnyk NUVGP, 3(71), 19–23. [in Ukrainian].*

11. Sekhri A. Arezki, Hamdadou B. Djamilia, & Beldjilali C. Bouziane (2015). *AQUAZONE: A Spatial Decision Support System for Aquatic Zone Management. I.J. Information Technology and Computer Science, Vol.7, No.4. Retrieved from <http://www.mecspress.org/ijitcs/ijitcs-v7-n4/IJITCS-V7-N4-1.pdf>*

12. Holling, K.S. (Ed.). *Ekolohicheskie sistemy. Adaptativnaia ozenka e upravlenie [Ecological systems. Adaptive assessment and management]. Moskva: Mir.*

13. SengMah, D., Putuhena, F., N.A. btRosli (2011). *Modelling of river flushing and water quality in a tributary constrained by barrages. Irrigation and Drainage Systems*, 25, 427–434.

14. Kovalchuk, P.I., Kovalenko, P.Yu., Balykhina, H.A. & Rozhon V.A. (2018). *Porivnial'nyi analiz system upravlinnia promyvkoiu richky Inhulets` na osnovi modeliuvannia [Comparative analysis of flushing control systems for Ingulets River on the basis of modeling]. Mizhnarodna nauk.-praktych. konf., prysviachena Vsesvitnomu dniu vody «Pryroda dlia vody» [International scientific and practical conference devoted to the World Water Day «Nature for Water»]. Kyiv, 84–85. [in Ukrainian].*

15. Kovalenko, P.Yu. (2017). *Udoskonalennia upravlinnia promyvkoiu richky Inhulets` na osnovi stsenarnoho modeliuvannia [Improvement of flushing control for Ingulets river based on scenario modeling]. Melioratsia i vodne hospodarstvo. Kyiv: Agrarna nauka, 106, 53–57. [in Ukrainian]*

16. Kovalchuk, P.I., Balykhina, H.A., Demchuk, O.S., & Kovalchuk, V.P (2017). *Modeling of water use and river basin environmental rehabilitation. CSIT 2017: Materialy XII Mizhnarodnoi nauk.-technich.konf. Lviv, 468–472. [in Ukrainian].*

17. Kovalchuk, P.I., Balykhina, H.A., Kovalenko, R.Yu., Demchuk, O.S., & Rozhon, V.A. (2018). *Information technology of the system control of water use within river basins. Advances in Computer Science for Engineering and Education, 123–132. [in Ukrainian].*

**П.И. Ковальчук, Р.Ю. Коваленко, А.А. Балыхина**

**Методологические особенности концепции системного управления водопользованием по бассейновому принципу**

*Приведены методические особенности формирования системы управления водными ресурсами по бассейновому принципу. Системное управление водопользованием рассматривается как развитие интегрированного управления водными ресурсами по следующим направлениям: иерархический подход, интегрированный подход по территориальному принципу, интегрированный подход по видам управления, интегрирование по экологическим и экономическим целям управления. Представленную структурно-функциональную схему системного управления. При реализации планов управления водными ресурсами в бассейне реки рекомендуется использовать информационные технологии.*

**P. Kovalchuk, R. Kovalenko, H. Balykhina**

**Methodological features of the concept of water use system management using basin principle**

*The methodical features of the formation of a water resources management system using basin principle are presented. System management of water use is considered as the development of integrated water resources management in the following areas: hierarchical approach, integrated approach according to the territorial principle, integrated approach by management types and integration according to environmental and economic management objectives. The structural-functional scheme of system management is proposed. Information technology is recommended to use during implementation of the water management plans within the river basin.*

DOI: 10.31073/mivg201801-118

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/118>

УДК 556.53

## ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЗА ЕКОЛОГІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ В СИСТЕМІ КАНАЛУ ДНІПРО-ДОНБАС

В.І. Рожко,

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: victoria\_ro@ukr.net

**Анотація.** У статті наведено порівняльний аналіз якості вод за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» за період до та після проведення водообміну у каналі Дніпро-Донбас. Встановлено, що основними показниками, які погіршують якість вод у цьому каналі, є підвищений вміст сульфатів (7 категорія) та величина показника прозорості (6-7 категорії). За даними показниками води характеризуються за станом як «погані» та «дуже погані», а за ступенем чистоти як «брудні» та «дуже брудні».

**Ключові слова:** екологічна оцінка, якість вод, клас якості вод, категорія якості вод, індекс якості вод.

**Вступ.** Води каналу Дніпро-Донбас є одним із джерел водопостачання для потреб міста Харків та області, а також для зрошення та підтримки водності річки Сіверський Донець [1]. До того ж канал повинен забезпечити достатню кількість води відповідної якості для потреб питного водопостачання, яка залежить від природних факторів її формування та характеризується підвищеними показниками жорсткості води річок і струмків, що впадають у нього [2].

**Аналіз попередніх досліджень.** Перші роботи, присвячені дослідженню хімічного складу води на території України, були проведені в кінці XIX ст., коли розвиток промисловості і ріст великих міст викликали необхідність вивчення річкових вод для використання в промисловості та водозабезпечення міст. Але існуючі дані були неповними. Вони становили собою одиничні

аналізи, проведені у різний час для різних басейнів [3].

Гідрохімічний аналіз якості води в період до будівництва каналу Дніпро-Донбас у заплаві р. Оріль наведено в [4]. Згідно з отриманими даними вода належить до сульфатного класу натрієвої групи другого типу. Якість води каналу, в контексті поверхневих вод басейну р. Дніпро, розглянута [5,6,7].

Різними вченими проводиться аналіз якості води у каналі Дніпро-Донбас для комунально-питного призначення [2,8] та на зрошення.

**Матеріали та методика досліджень.** Для екологічної оцінки ефективності проведення водообміну пропонується екосистемний підхід, що базується на використанні нейронної мережі [9]. Для адекватної розробки нейронної мережі та візуалізації екологічної оцінки на вибраному об'єкті необхідно розробити карту-схему з нанесенням пунктів відбору проб (рис. 1).



Рис. 1 Карта-схема пунктів спостережень у каналі Дніпро-Донбас та Кам'янське водосховище

© В.І. Рожко, 2018



**Мета і завдання досліджень.** Головною метою є з'ясування тенденцій змін якості вод у системі каналу Дніпро-Донбас до та після проведення водообміну. Для цього необхідно виконати екологічну оцінку якості вод за відповідними критеріями згідно з [10], яка надає інформацію про воду як складову водної екосистеми і важливу частину природного середовища людини.

**Результати дослідження та їх обговорення.** На основі єдиних екологічних критеріїв проведена оцінка змін стану водних ресурсів та виконано порівняльний аналіз якості вод на окремих ділянках каналу Дніпро-Донбас при проведенні водообміну у 2016 р. відповідно до Методики [10]. Дослідження проводилися за трьома блоками спеціалізованих класифікацій: блок сольового складу, блок трофо-сапробіологічних критеріїв та блок специфічних речовин токсичної та радіаційної дії, за середніми та максимальними (найгіршими) значеннями показників двох періодів: серпень-вересень (до водообміну) і грудень-січень (після проведення водообміну) [10].

У період досліджень до проведення водообміну, відповідно до [10] на першому рівні ієрархії, оцінка якості вод за першим блоком (сума іонів, хлориди, сульфати), розрахунок за індексами сольового складу ( $I_{\text{сер}}$ ,  $I_{\text{max}}$ ), показала, що вода каналу Дніпро-Донбас за середніми і найгіршими величинами II знаходиться в межах  $1,0 \leq I_1 \leq 6,3$ .

Величина мінералізації у каналі розподілена нерівномірно, спостерігається її збільшення від с. Шульгівка ( $312 \text{ мг/дм}^3$ ) і до с. Орілька ( $2767 \text{ мг/дм}^3$ ) та у р. Орілька ( $2067 \text{ мг/дм}^3$ ), що впадає в канал у районі Орільського водосховища. За критерієм мінералізації переважна більшість вод каналу належить до 1-3 категорій I-III класів.

Води характеризуються як перехідні за якістю від «посередніх», «помірно забруднених» до «поганих», «брудних» за  $I_{\text{сер}}$  та «поганих», «брудних» за  $I_{\text{max}}$ . Максимальні значення блокових індексів сольового складу із встановленим значенням ( $I_{\text{max}}=5,0-6,0$ ) зафіксовано на ділянці від Орільського до Краснопавлівського водосховища. При цьому найгіршими виявилися значення показника сульфатів, величини яких коливаються у межах від 34,4 до  $1222,2 \text{ мг/дм}^3$ . Значення індексів трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників змінюються в межах: для середніх значень  $3,0 \leq I_{2\text{сер}} \leq 3,7$ ; для максимальних  $3,1 \leq I_{2\text{max}} \leq 4,2$ .

За класифікацією води каналу Дніпро-Донбас належать до 2-го та 3-го класів 3-ї та

4-ї категорії і характеризуються як «добрі», «досить чисті», перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабо забруднених», і «задовільні», «слабо забруднені». Найгірші значення за трофо-сапробіологічним блоком зафіксовано за показником прозорості (5 клас, 7 категорія), а у пункті спостережень р. Орілька, міст, 1,50 км від гирла, – за показником фосфору фосфатів (5 клас, 7 категорія) та розчиненого кисню (4 клас, 6 категорія).

Значення середнього та максимального індексів специфічних показників токсичної і радіаційної дії коливаються в межах  $2,50 \leq I_{3\text{сер,max}} \leq 3,50$ . Води каналу належать до 2-го класу 2-ї та 3-ї категорій і характеризуються як «добрі», «досить чисті».

На другому рівні ієрархії проведена оцінка за блоковими індексами класів та категорій вздовж каналу Дніпро-Донбас, яка показала високий рівень забруднення за сольовим блоком, зокрема за показником сульфатів (7 категорія), та за показником прозорості (7 категорія) трофо-сапробіологічного блоку [11].

На третьому рівні ієрархії в результаті осереднення відбувається подальше пониження рівня забруднення за зведеними екологічними індексами до 2-4 категорій II-III класів.

У системі каналу якість вод змінювалася від «дуже добрих», «чистих» з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих» (с. Шульгівка) до «задовільних», «слабо забруднених» вод з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених» (Орільське та Краснопавлівське водосховища) (рис. 2).

Результати розрахунків до проведення водообміну у Краснопавлівському водосховищі наведено у табл. 1.

У період після проведення водообміну в каналі спостерігається пониження концентрації ( $\text{мг/дм}^3$ ) середніх та максимальних значень показників блоку сольового складу. За показником суми іонів та хлоридів якість вод на ділянці від с. Шульгівка до с. Орілька належить до 1 категорії I класу якості, а на ділянці від Орільського водосховища і до скиду у р. Сіверський Донець – до 3 і 4 категорій 3 класу якості. Однак за величиною вмісту сульфатів якість води на ділянці від Орільського до Краснопавлівського водосховища залишається в межах 7 категорії 5 класу.

Синхронно із зниженням концентрації значень показників блоку сольового складу відбувається зниження концентрацій значень показників трофо-сапробіологічного блоку

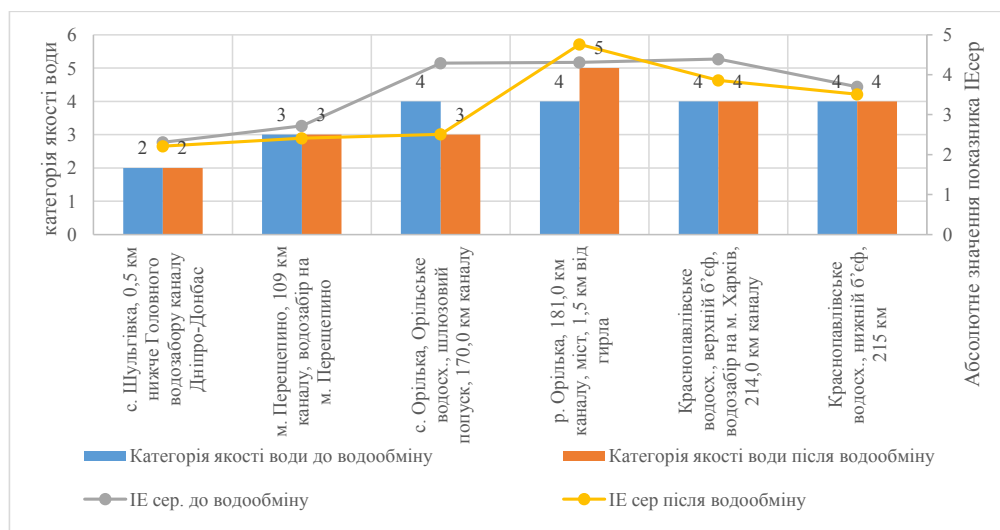


Рис. 2. Категорії якості води та абсолютні значення показника  $I_{Eсер}$  до водообміну та після його проведення

**1. Оцінка класів, категорій та субкатегорій якості води, її вербальна екологічна оцінка за середнім значенням блокових індексів у системі каналу Дніпро-Донбас у період до проведення водообміну**

Місце відбору проби	Абсолютне значення показника $I_{Eсер}$	Клас якості води	Категорії якості води	Середні значення блокових індексів	Позначення відповідної субкатегорії якості води	Словесна характеристика субкатегорій якості води
с. Шульгівка, 0,5 км нижче Головного водозабору каналу Дніпро-Донбас	2,31	2	2	2,26-2,50	2(3)	«Дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих»
м. Перещепино, 109 км каналу, водозабір на м. Перещепино	2,72	2	3	2,51-2,75	2-3	Води перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
с. Орілька, Орільське водосх., шлюзовий попуск, 170,0 км каналу	4,29	3	4	4,26-4,50	4(5)	«Задовільні», «слабо забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених»
р. Орілька, 181,0 км каналу, міст, 1,5 км від гирла	4,31	3	4	4,26-4,50	4(5)	«Задовільні», «слабо забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених»
Краснопавлівське водосх., верхній б'єф, водозабір на м. Харків, 214,0 км каналу	4,39	3	4	4,26-4,50	4(5)	«Задовільні», «слабо забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених»
Краснопавлівське водосх., нижній б'єф, 215 км	3,70	3	4	3,51-3,75	3-4	Води, перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабо забруднених»

та блоку специфічних речовин токсичної дії, але категорії якості залишаються таким ж як до проведення водообміну. Після проведення водообміну води каналу Дніпро-Донбас насичені киснем і за цим показником відповідають 1 категорії 1 класу якості, в той же час за показником прозорості – 6-7 категорії 4-5 класу якості (табл. 2).

Річка Орілька перетинає канал Дніпро-Донбас у районі Орільського водосховища і має природну, характерну для Харківської області та Донбасу, високу жорсткість води більше 16 мг-екв./дм<sup>3</sup>. Річка маловодна, середні річні витрати коливаються в межах 0,20-0,40 м<sup>3</sup>/с, у весняну повінь досягають 12,0-13,0 м<sup>3</sup>/с, у літню межень часто пересихає, в зимову – перемерзає. Окрім високої жорсткості, води Орільки суттєво забрудненні за сольовим блоком, зокрема за показниками суми іонів і сульфатів відносяться до 7 кате-

горії 5 класу, а за хлоридами – до 5-6 категорії 3-4 класів. Накопичення сульфатів у воді р. Орілька зумовлено впливом широко розповсюджених гіпсовмісних порід в четвертинних і неогенових відкладах басейну і солончакових ґрунтів. Мінералізація води в пункті спостереження на р. Орілька в період дослідження становила 2,0-3,4 г/дм<sup>3</sup>, що відповідає 3 класу якості води.

За показниками прозорості, перманганантної окиснюваності, вмісту розчиненого кисню та фосфатів трофо-сапробіологічного блоку якість води належить до 6-7 категорій 4-5 класів.

Під час проведення водообміну у каналі Дніпро-Донбас рівні води підвищуються і на ділянці від впадіння р. Орілька в Орільське водосховище до пункту спостережень на відстані 1,5 км можуть спостерігатися явища зворотної течії. У результаті до річки надхо-

**2. Оцінка класів, категорій та субкатегорій якості води,  
її вербальна екологічна оцінка за середнім значенням блокових індексів  
у системі каналу Дніпро-Донбас у період після проведення водообміну**

Місце відбору проби	Абсолютне значення показника ІЕ сер	Клас якості води	Категорії якості води	Середні значення блокових індексів	Позначення відповідної субкатегорії якості води	Словесна характеристика субкатегорій якості води
с. Шульгівка, 0,5 км нижче Головного водозабору каналу Дніпро-Донбас	2,21	2	2	2,00-2,25	2	«Дуже добрі», «чисті» води
м. Перещепино, 109 км каналу, водозабір на м. Перещепино	2,41	2	3	2,26-2,50	2(3)	«Дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих»
с. Орілька, Орільське водосх., шлюзовий попуск, 170,0 км каналу	2,51	2	3	2,51-2,75	2-3	Води перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
р. Орілька, 181,0 км каналу, міст, 1,5 км від гирла	4,76	4	5	4,51-4,75	4-5	Води перехідні за якістю від «задовільних», «слабо забруднені» до «посередніх», «помірно забруднених»
Краснопавлівське водосх., верхній б'єф, водозабір на м. Харків, 214,0 км каналу	3,86	3	4	3,76-3,99	4(3)	«Задовільні», «слабозабруднені» води з ухилом до «добрих», «досить чистих»
Краснопавлівське водосх., нижній б'єф, 215 км	3,51	3	4	3,51-3,75	3-4	Води перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабо забруднених».

дять води кращої за класом якості. Але це явище триває лише в період водообміну, після закінчення якого р. Орілька знов несе забруднені води до водосховища.

На ділянці каналу від Краснопавлівського водосховища до водоскиду у р. Сіверський Донець вода йде самопливом, частково використовуючи русла річок Берека і Бритаї. Останній екологічний водовипуск до Сіверського Донця здійснювався під час водообміну у листопаді-грудні 2013 р., тому до загальної оцінки якості вод при проведенні водообміну у 2016 р., якість вод самопливної ділянки не включається.

**Висновки.** За результатами порівняльного аналізу стану водних ресурсів до та після проведення водообміну у каналі Дніпро-Донбас встановлено покращення якості вод у період після проведеного водообміну на ділянці каналу від с. Шульгівка до Орільського водосховища від «добрих», «досить чистих»

та «задовільних», «слабо забруднених» до «дуже добрих», «чистих» з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих».

Проведені дослідження показують зменшення значення екологічного індексу  $I_E$  у Краснопавлівському водосховищі та покращення якості вод від перехідних за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабо забруднених» до категорії «добрі», «досить чисті».

За результатами проведених розрахунків екологічної оцінки якості вод за трьома блоками показників виявлено забруднюючі речовини, якість води за якими відноситься до шостої і сьомої категорії. Систематично високий рівень забруднення вод у системі каналу встановлено за вмістом сульфатів та показником прозорості. Води каналу Дніпро-Донбас за встановленими показниками характеризуються за станом як «погані» та «дуже погані», а за ступенем чистоти як «брудні» та «дуже брудні» [11].

### Бібліографія

1. Бережний І. Водообмін на Краснопавлівському водосховищі // Слобідський край, 2012. №84. С. 3.
2. Рожко В.І., Ковальчук П.І. Аналіз якості води для питного водопостачання в системі каналу Дніпро-Донбас // Меліорація і водне господарство. 2016. № 103 С. 32-36.
3. Притула Л. М. Особливості формування хімічного складу поверхневих вод басейну р. Десни у 2000–2007 роках // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: 2010. Т. 18. С. 230-237.
4. Коненко А.Д. Гидрохимическая характеристика малых рек УССР / Киев: Изд-во АН УССР, 1952. 172 с.
5. Осадчий В.І. Основні тенденції формування хімічного складу поверхневих вод України у 1995-1999 рр. // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2001. Вип. 248. С. 138-153.
6. Осадча Н.М., Осадчий В.І. Особливості формування хімічного складу поверхневих вод України у 2000 р. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ: Ніка-Центр, 2001. С. 379-389.
7. Горев, Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Гідрохімія України : підручник / Київ: Вища школа, 1995. С. 308.
8. Ричак Н.Л., Чепурна А.О. Склад та якість питної води різних джерел водопостачання (на прикладі Дзержинського району міста Харкова) // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. 2012. Вип. 6 (77). С. 112-117.
9. Kovalchuk P.I. Perceptron model of system environmental assessment of water quality in river basins / P.I. Kovalchuk, A.V. Gerus, V.P. Kovalchuk // 4-th international conference on inductive modeling. Proceedings. Kyiv. 2013. P. 279-284.
10. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко та ін. Київ: Символ-Т, 1988. С. 28.
11. Рожко В.І. Екологічна оцінка якості вод у каналі Дніпро-Донбас при проведенні водообміну // Роль меліорації та водного господарства у забезпеченні сталого розвитку землеробства: III Міжнар. наук.-практ. конф. мол. учених: тези доп. Київ: ІВПіМ, , 6 грудня 2017 р. С. 60-63.

### References

1. Berezhnyi, I. (2012). *Vodoobmin na Krasnopavlivskomu vodoskhovyshchi*. [The water exchange at the Krasnopavlivske reservoir] *Slobidskyi kraj* 84, 3.
2. Rozhko, V. I., & Kovalchuk, P. I. (2016). *Analiz yakosti vody dlia pytnogo vodopostachannia v systemi kanalu Dnipro-Donbas*. [The analysis of the water quality for drinking water supply in the Dnipro-Donbas canal system] *Melioraciya i vodne gospodarstvo*, 103, 32-36. [in Ukrainian].

3. Prytula, L.M. Osoblyvosti formuvannia khimichnogo skladu poverkhnevyyh vod baseinu r. Desny v 2000-2007 rokah. [The formation features of the chemical composition of surface waters at the Desna river basin in 2000-2007yy.] *Hidrologiya, gidrokhimiya i hidroekologiya*, T. 18, 230-237. [in Ukrainian].

4. Kononenko, A. D. (1952) *Hidrokhimicheskaiia kharakteristika malykh rek USSR*. [Hydrochemical characteristics of small rivers of the USSR] Kiev: AN USSR. [in Russian].

5. Osadchyi, V.I. (2001) Osnovni tendenciyi formuvannia khimichnogo skladu poverkhnevyyh vod Ukrainy v 1995-1999 rokah. [The main trends in the formation of chemical composition of the Ukraine surface waters in 1995-1999 yy.] *Naukovi praci Ukrainського naukovo-doslidnogo hidrometeorologichnogo instytutu*, 248, 138-153. [in Ukrainian].

6. Osadcha, N. M., & Osadchyi, V.I. (2001) Osoblyvosti formuvannia khimichnogo skladu poverkhnevyyh vod Ukrainy v 2000 r. [The formation features of the chemical composition of the Ukraine surface waters in 2000] *Hidrologiya, gidrokhimiya i hidroekologiya*, Kyiv: Nika-Tsentr, 379-389. [in Ukrainian].

7. Horev, L. M., & Peleshenko, V. I., Khilchevskiy, V. K. (1995) *Hidrokhimia Ukrainy: pidruchnik*. [The hydrochemistry of Ukraine] Kyiv: Vyscha shkola. [in Ukrainian].

8. Rychak N. L., & Chepurna A. O. (2012) Sklad ta yakist pytnoi vody riznykh dzherel vodopostachannia (na prykladi Dzerzhynskogo rayonu mista Kharkova). [The composition and quality of drinking water of various sources of water supply (on the example of the Dzerzhinsky district of the Kharkiv city)] *Visnyk KrNU im. Mykhaila Ostrohradskoro*, 6(77), 112-117. [in Ukrainian].

9. Kovalchuk, P.I., & Gerus, A.V., Kovalchuk, V.P. (2013) Perceptron model of system environmental assessment of water quality in river basins. IV intern. Conf. on inductive modeling. Proceedings. Kyiv., 279-284. [in Ukrainian].

10. Romanenko, V.D. (1988) *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidnovidnyimi kategoriyamy*. [The methodology of ecological assessment of surface water quality according to the relevant categories] Kyiv: Symvol-T, 28. [in Ukrainian].

11. Rozhko, V. I. *Ekolohichna otsinka yakosti vod v kanali Dnipro-Donbas pry provedenni vodoobminu* [The ecological assessment of water quality in the Dnipro-Donbas canal during the water exchange] (2017, December 7) *Rol melioratsii ta vodnogo hospodarstva v zabezpechenni staloho rozvytku zemlerobstva: III Mizhn. nauk.-prakt. konf. mol. uchenikh: tezy dop.* Kyiv: IVPIM., 60-63. [in Ukrainian].

**В.И. Рожко**

**Пространственно-временная оценка качества вод  
по экологическим критериям в системе канала Днепр-Донбасс**

В статье приведен сравнительный анализ качества вод по «Методике экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям» за период до и после водообмена в канале Днепр-Донбасс. Установлено, что основными показателями, которые ухудшают качество вод в этом канале, являются повышенное содержание сульфатов (7 категория) и величина показателя прозрачности (6-7 категории). Данные показатели характеризуют воды по состоянию как «плохие» и «очень плохие», а по степени чистоты как «грязные» и «очень грязные».

**V.I. Rozhko**

**Spatial-temporal estimation of water quality according  
to ecological criteria in the Dnipro-Donbass canal system**

The article gives a comparative analysis of the quality of water according to the «Methodology of environmental assessment of surface water quality according to the relevant categories» for the period before and after the water exchange in the Dnipro-Donbas canal. It is established that the main indicators that impair the quality of water in this channel are the increased content of sulfates (category 7) and the magnitude of the transparency index (6-7 categories). According to the indicators of water, they are characterized as «bad» and «very bad», and by degree of purity as «dirty» and «very dirty».

DOI: 10.31073/mivg201801-109

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/109>

УДК 631.67; 626.86

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАКРИТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖУ НА ФОНІ ЗРОШЕННЯ ДМ «ФРЕГАТ»

Д.П. Савчук<sup>1</sup>, канд. тех. наук, О.І. Харламов<sup>2</sup>, І.В. Котикович<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: savchuk.igim@gmail.com;

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: lharlam911@gmail.com;

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: ikotikovych@gmail.com

***Анотація.** Розглянуто умови функціонування закритого горизонтального дренажу самопливного типу на фоні зрошення ДМ «Фрегат» у складних природно-водогосподарських умовах. Встановлено швидкість підйому рівнів ґрунтових вод на зрошуваних масивах. Доведено доцільність застосування самопливного горизонтального дренажу глибокого закладання на зрошенні ДМ «Фрегат». Розроблено комплекс інженерно-технічних та технологічних заходів, які дозволяють зменшити водне навантаження на дрени при зрошенні широкозахватною дощувальною технікою кругової дії.*

***Ключові слова:** Горизонтальний дренаж, рівень ґрунтових вод, ДМ «Фрегат», зрошення, підтоплення*

**Постановка питання.** На зрошуваних масивах півдня України застосування проти-фільтраційних облицювань, закритих напірних трубопроводів та широкозахватної дощувальної техніки поливу типу ДМ «Фрегат», ДФ «Дніпро» та «Кубань» забезпечило істотну економію поливної води та зменшення негативного впливу зрошення на гідромеліоративний стан територій [6,7,9,11,16]. Водночас на вододільних рівнинах, які характеризуються низькою природною дренаваністю та безстічністю в межах замкнених степових подів і знижень, успішне ведення зрошення стало можливим лише за умови влаштування дренажних систем та захисту території від затоплення і підтоплення [4,7,13].

Умови функціонування та ефективність дренажу в складних природно-господарських умовах на фоні широкозахватної техніки поливу вивчені недостатньо, що засвідчує актуальність їхнього дослідження [11].

**Метою роботи** є встановлення умов функціонування та ефективності систематичного закритого горизонтального дренажу на масивах зрошення ДМ «Фрегат».

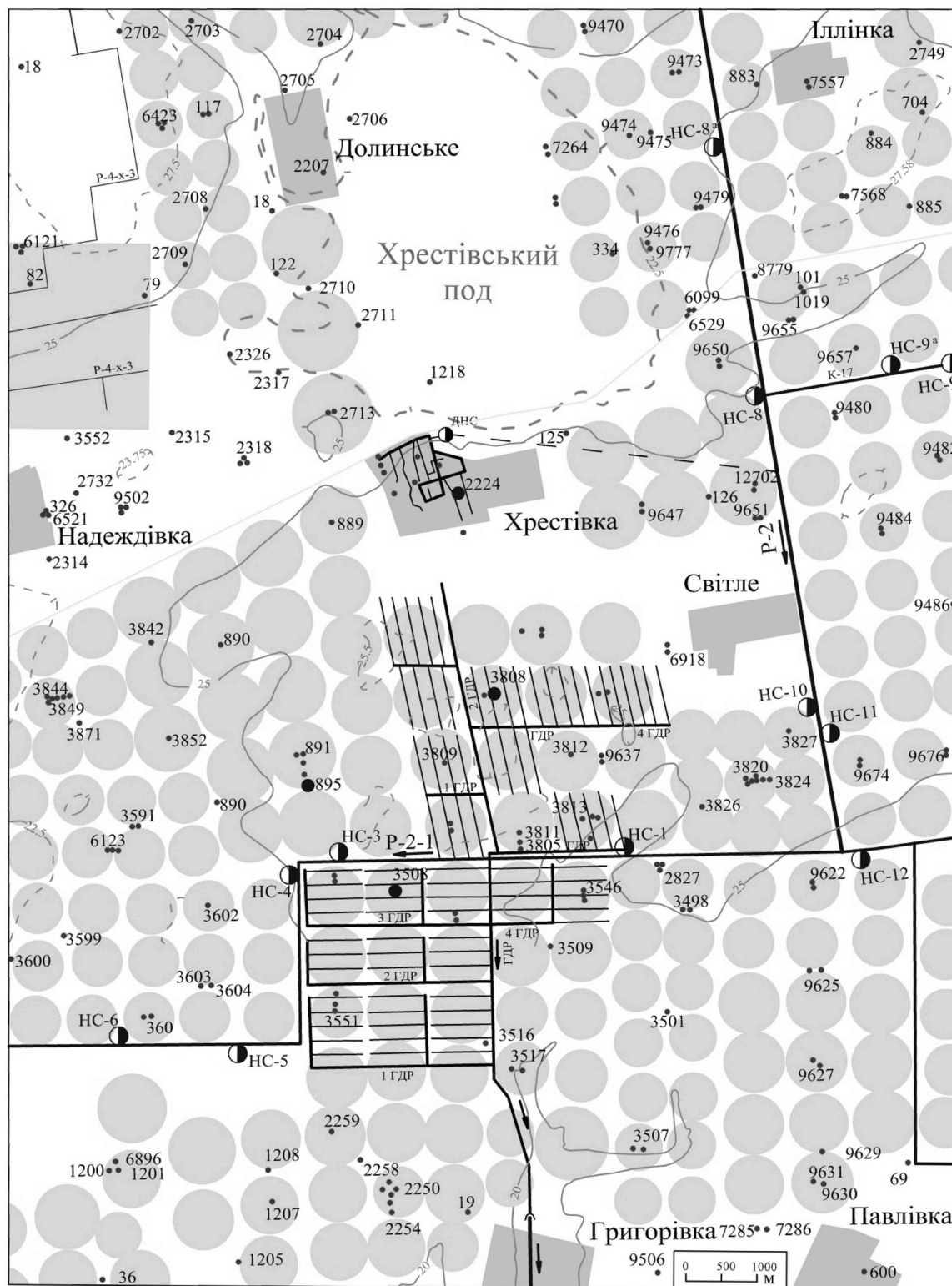
**Методика досліджень.** Дослідження проводили на дослідно-виробничій ділянці (ДВД), яка розташована на Каховському зрошуваному масиві в районі сільського населеного пункту Хрестівка Чаплинського району Херсонської області (рис. 1). Площа ділянки становить 24 тис. га, з них близько 16 тис. га зі зрошенням ДМ «Фрегат» та 2 тис. га з дренажем.

У рамках досліджень проводили збір та аналіз проектних та експлуатаційних характеристик зрошувальних та дренажних систем, даних багаторічних спостережень за рівнем ґрунтових вод (РГВ) та атмосферними опадами, результатів періодичних обстежень дренажу та вимірювання дренажного стоку.

Дослідження охоплюють два періоди: стабільного та скороченого зрошення. В останній період водоподача в регіоні на зрошуваних землях зменшилась приблизно у 2,7 рази [13].

Для досліджень режиму РГВ на ділянці відібрано контрольні спостережні свердловини з тривалим терміном спостереження, які розташовані на різних за природними умовами та гідромеліоративним станом територіях. На зрошуваних землях свердловини розташовані переважно в районі гідранту ДМ «Фрегат», який характеризується підвищеною інтенсивністю дощу, вологістю ґрунтів та розвитком процесів затоплення і підтоплення [9,18].

Вважається, що горизонтальний дренаж включався в роботу при перевищенні РГВ глибин закладання дрен та колекторів. Оцінка ефективності дренажних систем здійснювалась шляхом порівняння фактичних та нормативних (критичних) глибин залягання РГВ. При тривалому заляганні РГВ вище критичних глибин робота дренажу вважалась недостатньою. Критична глибина на ділянці становить 2 м [11]. Водогосподарські умови функціонування дренажу визначали за результатами моніторингу космічних знімків ділянки.



■-1; —-2; —-3; —<sup>p-2</sup>-4; ●-5; ■-6; ●-7; ●-8; ---9; ■-Хрестівка-10; 7285-11; ●-895-12; —<sup>30</sup>-13

**Рис. 1. Схема дослідно-виробничої ділянки:**

1 – дренажно-скидний канал; 2 – колектор; 3 – дрена; 4 – зрошувальний канал; 5 – зрошення ДМ «Фрегат»; 6 – зрошення ДДА-100М; 7 – насосна станція (НС); 8 – дренажна насосна станція (ДНС); 9 – напірний трубопровід; 10 – сільські населені пункти; 11 – спостережна свердловина; 12 – контрольна спостережна свердловина; 13 – горизонталі місцевості

**Характеристика району досліджень.**

Територія ділянки відноситься до сухо-степової фізико-географічної зони, яка характеризується недостатньою зволоженістю, низькою водністю та максимальними опадами за добу до 200 мм [10].

У геоморфологічному відношенні ділянка розташована в межах Причорноморської низовини на території Асканійсько-Мелітопольської рівнини [12]. Поверхня землі на ній становить собою одноманітну степову слабозрчленовану рівнину з м'якими формами рельєфу, загальним нахилом на південь, наявністю замкнених плоскодонних знижень – подів, балок і улоговин. На території ділянки знаходиться Хрестівський под та значна кількість безстічних знижень. Площа поду становить близько 3000 га, площа знижень – до 2-40 га. На схилах знижень похили місцевості досягають 0,0015-0,0020.

Геологічно-літологічна будова товщі порід включає четвертинні супіщано-суглинисті відкладення потужністю від 10-15 до 20-30 м, нерозчленовані середньоверхньопліоценові піщано-глинисті відкладення потужністю від 15-20 до 50-70 м, а також вапняково-мергелеві і піщані відкладення потужністю від 30-50 до 110-130 м [12].

Коефіцієнти фільтрації порід зони аерації для суглинистих ґрунтів у середньому становлять 0,2-0,8 м/добу, пісків – у середньому 8 м/добу. Рівні ґрунтових вод до початку зрошення залягали на глибинах близько 23 м.

Ділянка характеризується високим рівнем насиченості територій зрошуваними землями та інтенсивним зрошенням присадибних ділянок у населених пунктах. Площа зрошення становить близько 65% від загальної площі ділянки. Зрошення земель дніпровською водою на ділянці проводиться понад 50 років. Сільськогосподарські угіддя зрошуються переважно за допомогою високопродуктивних дощувальних машин кругової дії типу «Фрегат». Загальна кількість позицій зрошення на ділянці – близько 250. Площа однієї позиції коливається у межах 39-100 га. У населених пунктах практикується інтенсивне зрошення присадибних ділянок водопровідною водою або локальною водозабірною свердловиною. Останнім часом активно застосовується краплинне зрошення.

На зрошуваних землях переважно вирощують зернові, кормові та овочеві культури. Поливна норма становить 300-400 м<sup>3</sup>/га, зрошувальна – 1600-4000 м<sup>3</sup>/га.

Зрошувальні системи на ділянці включають насосні станції, міжгосподарську та

внутрішньогосподарську мережу та ДМ «Фрегат». Міжгосподарська мережа представлена відкритими каналами Р-2 та Р-2-1, які оснащені протифільтраційним облицюванням на основі бетоно-плівкових екранів [2]. У межах ділянки витрата води в каналі Р-2 становить 51,3 м<sup>3</sup>/с, Р-2-1 – 23 м<sup>3</sup>/с. Внутрішньогосподарська мережа представлена закритими трубопроводами. Труби сталеві та чавунні. Діаметр головних трубопроводів (ГТ) – 600-1000 мм, польових (ПТ) – 200-500 мм.

Інженерний дренаж на зрошуваних землях представлений самопливною системою закритого горизонтального типу на площі 1840 га. За площею система належить до однієї з найбільших закритих дренажних систем в Україні. Відстань між дренами становить близько 200 м, глибина закладання дрен – 2,8-3,0 м, глибина закладання колекторів – 4,9-5,3 м. Діаметр дрен – 0,1 м, діаметр колекторів – 0,2-0,6 м, похил дрен – 0,0015, похил колекторів – 0,0005-0,0007. Водоприймачем дренажних вод служить дренажно-скидний канал Захід-Схід. Дренаж побудований в 1989-1990 рр. і експлуатується близько 30 років.

За технічними рішеннями та основними показниками зрошувальна та дренажна мережа на ділянці належить до однієї з найбільш досконалих в Україні [2]. На етапі її проектування використано найновіші досягнення світової практики іригаційного будівництва.

**Результати досліджень.** Опрацювання даних багаторічних режимних спостережень показали, що тривале зрошення на масиві призвело до регіонального та локальних підйомів РГВ (рис. 2). Регіональний підйом на фоні зрошення без дренажу відбувався зі щорічною швидкістю підйому у період стабільного зрошення близько 0,8 м/рік, а у період зменшення площі і частоти поливів – 0,15 м/рік. Аналогічне регіональне підвищення РГВ спостерігається на суміжних зрошуваних землях у зоні каналу Р-2 [4]. На Інгулецькому зрошуваному масиві з поливом за допомогою ДДА-100М швидкість підйому становила 0,65-1,20 м за рік [1]. Локальні прояви затоплення та підтоплення земель спостерігались на днищах знижень, у приканальних зонах та у центрах дощувальних машин «Фрегат».

На днищах знижень затоплення формувались у вологі періоди [17]. За результатами аналізу космознімків встановлено, що з 1984 по 2018 рр. на території досліджень осередки затоплення спостерігались не менше 5-ти разів, зокрема 8 червня 1985 р., 28 квітня



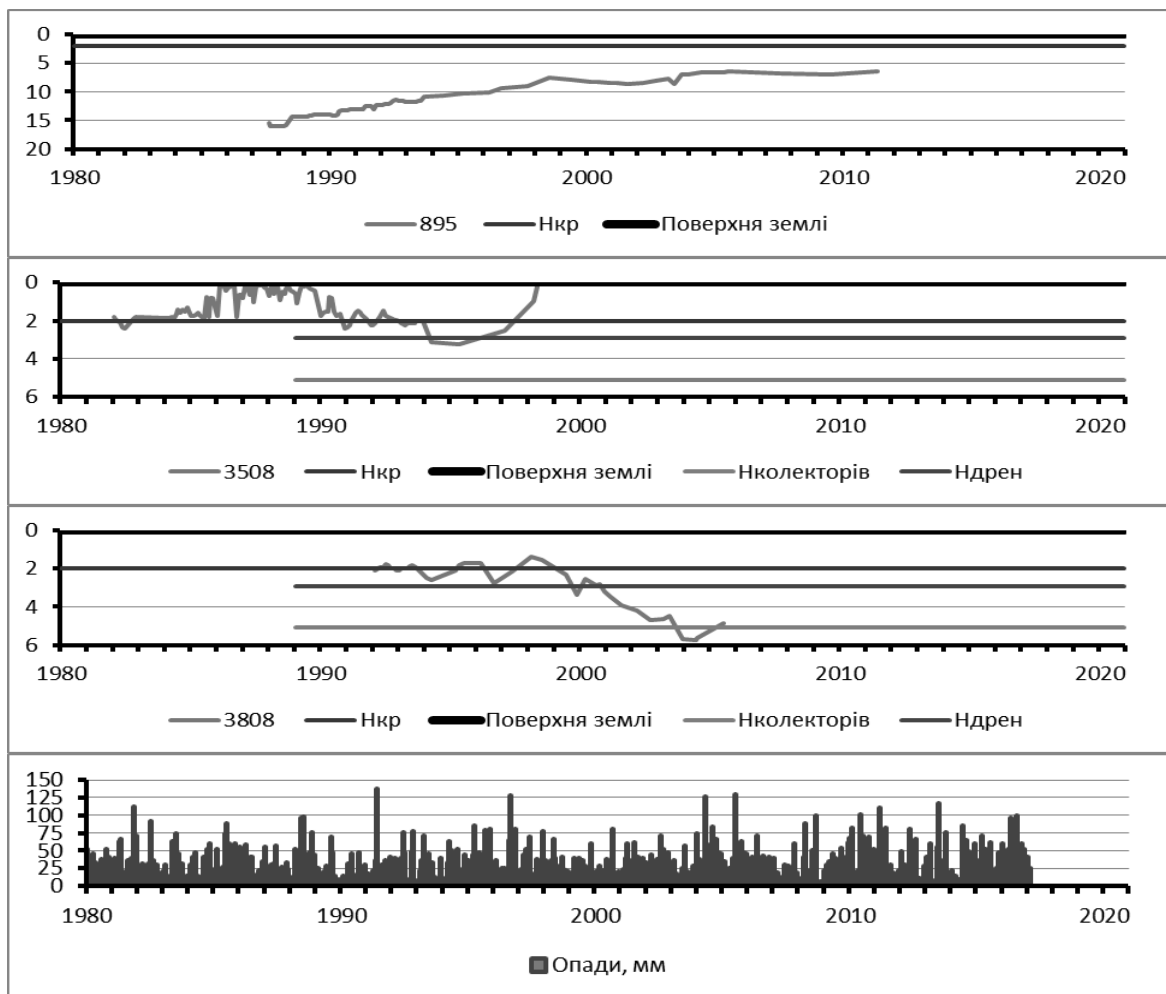


Рис. 2. Графік коливання РГВ на фоні зрошення і дренажу (за даними Каховської ГГМП)

1996 р., 2 квітня 1998 р., 10 березня 2010 р., 17 лютого 2017 р.

У приканальній зоні формувалось стійке підтоплення, яке ліквідувалось після введення в експлуатацію дренажної системи. У центрах ДМ «Фрегат», де спостерігались локальні фільтрація, втрати води біля гідрантів та підвищена інтенсивність дощування, виникали куполи РГВ. Загалом формування купольної структури поверхні ґрунтових вод на Каховській зрошувальній системі зафіксовано у понад 200 випадках, з них понад 40 на ділянці розподільного каналу Р-1 [5,12].

Основною причиною підйому РГВ на ділянці стало інфільтраційне живлення ґрунтових вод за рахунок сумарного надходження води опадів і поливів, величина яких у межах Асканійсько-Мелітопольської рівнини коливається від 440 до 1200 мм [11]. На масивах зрошення це живлення залежно від гідрогеологічних та водогосподарських умов змінюється за даними Ю.Г. Головченка від 10-50 до

100-120 мм/рік, М.І. Ромащенко – 3-75 мм/рік, Д.П. Хіміч та О.В. Цвєтової – 80-129 мм/рік [8,11,18].

Результати періодичних обстежень дренажу показали, що на початковому етапі експлуатації дренажної системи у роботу включились закриті колектори з найбільшою глибиною закладання. Витрати води на них досягали 2,0-3,8 л/с. Польові дрени переважно не мали стоку.

Результати проведених досліджень засвідчили, що при відновленні та розвитку зрошення у регіоні необхідно передбачити комплекс заходів, який включає:

- забезпечення моніторингу гідрогеолого-меліоративної ситуації на зрошуваних землях та прилеглих територіях на сучасній основі [15];

- відновлення дренажних систем на основі сучасних досягнень в області дренажу та забезпечення їх функціонування у проектному режимі [1,17];

- першочергове будівництво на землях нового зрошення вибіркової колекторно-дренажної мережі глибокого закладання (до 5-6 м) [3];

- заміну старої дощувальної техніки на сучасну, більш досконалу та високопродуктивну з рівномірним розподілом штучного дощу [16].

Реалізація розглянутих заходів призведе до істотного зменшення інфільтраційного живлення та навантаження на дренаж, формування автоморфного режиму ґрунтів та стабілізацію гідрогеолого-меліоративної ситуації. Водночас періодичні затоплення і підтоплення територій під час поливів та у вологі періоди вимагають удосконалення і розвитку дренажу [7,14].

**Висновок.** Встановлено закономірності формування режиму ґрунтових вод на зрошуваних масивах півдня України на фоні зрошення ДМ «Фрегат», які засвідчують підйом рівня ґрунтових вод зі швидкістю до 0,85 м/рік та необхідність завчасного влаштування систематичного закритого горизонтального дренажу, його високу ефективність та спроможність забезпечувати надійне

водовідведення, стабілізацію зростання РГВ та сприятливу гідрогеолого-меліоративну ситуацію.

На фактичному матеріалі доведено доцільність застосування на зрошуваних масивах з ДМ «Фрегат» самопливного вибіркового закритого горизонтального дренажу глибокого закладання і доповнення його за необхідності, яка визначається на основі моніторингу зрошуваних земель.

Розроблено комплекс інженерно-технічних та технологічних заходів, які дозволяють зменшити водне навантаження на дрени при зрошенні широкозахватною дощувальною технікою кругової дії. Результати проведених натурних досліджень та набутий досвід служитимуть науково-методологічною основою проектування захисних заходів, модернізації та реконструкції зрошувальних та дренажних систем в сучасних умовах.

Відновлення та розвиток зрошення в південних областях України вимагає використання існуючих дренажних систем, подовження терміну їх експлуатації, підтримання у робочому стані, модернізацію, удосконалення.

#### Бібліографія

1. Бабіцька О.А. Ефективність систем інженерного захисту від підтоплення самопливного та примусового типу та напрями їх удосконалення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації». Київ, 2010. 21 с.
2. Бакшеев Е.А., Матях Н.М., Карук Б.П. Каховская оросительная система // Гидротехника и мелиорация. 1976. №5. С. 103-113.
3. Бобченко В.И. Развитие мероприятий по борьбе с засолением орошаемых земель // Сб. науч. трудов ВНИИГиМ: Современные проблемы мелиорации земель. Москва. 1979. С. 161-173.
4. Булаевская И.Д., Драчинская Э.С. Аспекты анализа долгосрочной динамики уровня ґрунтових вод в Херсонской области // Екологія і ресурси: Зб. наук. праць Ін-ту проблем національної безпеки РНБОУ. Вип. 14. 2006. С. 68-72.
5. Василенко И.Л., Кальненко И.Ф., Строковський В.С. Формирование урвеного режима ґрунтових вод на Каховской оросительной системе // Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 67. Киев: Урожай, 1987. С. 15-17.
6. Водный режим почвогрунтов при орошении ДМ «Фрегат» / Емельянов В.А. и др. // Гидротехника и мелиорация. №1. 1976. С. 46-51.
7. Дренажные системы в зоне орошения / Н.Г. Бугай, и др.; ред. А.Я. Олейника. Київ: Урожай, 1986. 192 с.
8. Жернов И.Е., Муромцев Н.Н., Ромащенко М.И. Определение инфильтрационного питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации // Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 44. Киев: Урожай, 1978. С. 74-81.
9. Жовтоног О.И. Обоснование методики планирования поливов с учетом неоднородности увлажнения почвы на полях: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 Киев. 1986. 308 с.
10. Каховский орошаемый массив: дренаж и охрана природы / Дупляк В.Д. и др. // Мелиорация и водное хозяйство. 1992. № 9-12. С. 31-35.
11. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления в зоне орошения / Олейник А.Я. и др. Киев: Минводхоз УССР, Институт Гидромеханики АН УССР, Укргипроводхоз, 1986. 392 с.

12. Наседкин И.Ю., Чернодоля Г.А., Животов А.Д. Формирование гидрогеолого-мелиоративной обстановки в зоне Каховской оросительной системы // Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 57. Киев: Урожай, 1983. С. 27-29.

13. Оцінка сучасного гідрогеолого-меліоративного стану земель Каховського зрошуваного масиву / Морозов О.В. та ін. // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Вып. 2. 2014. С. 103-111.

14. Ромащенко М.И. Некоторые аспекты обоснования уменьшения оросительных норм // Вестник УААН. 1992. №3. С. 33-39.

15. Ромащенко М.И., Драчинська Е.С., Шевченко А.М. Інформаційне забезпечення зрошувального землеробства. Концепція, структура, методологія організації; ред. М.И. Ромащенко. Київ: Аграрна наука, 2005. 196 с.

16. Ромащенко М.И., Потреба у дощувальній техніці для відновлення зрошення в Україні / Ромащенко М.И. і др. // Вісник аграрної науки. 2012. №9. С. 44-48.

17. Ромащенко М.И., Савчук Д.П. Підтоплення Півдня України: причини та запобіжні заходи // Водне господарство України. 1998. № 5-6. С. 6-12.

18. Химич Д.П., Цветова Е.В. Баланс грунтовых вод и оценка их инфильтрационного питания в условиях тяжелых почво-грунтов Керченского полуострова при поливах дождевальными машинами «Фрегат» // Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 47. Киев: Урожай, 1979. С. 35-39.

### References

1. Babitska, O.A. (2011). *Efektivnist' sistem inzhinernogo zahistu vid pidtoplenia samoplyvnogo typu ta prymusovogo typu ta napriamy iih udoskonaleniia*. [Efficiency of systems of engineering protection against flooding of self-propelled and forced type and directions of their improvement]. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv. [in Ukrainian].

2. Baksheev, E.A., Matiakh, N.M., Karuk, B.P. (1976). *Kakhovskaia orositel'naia sistema*. [Kakhovskaya irrigation system]. *Gidrotekhnika i melioraciia*, 5, 103-113. [in Ukrainian].

3. Bobchenko, V.I. (1979). *Razvitie meropriiaty po bor'be s zasoleniem oroshaemykh zemel'*. [Development of measures to control salinization of irrigated land]. *Sb. nauch. trudov VNIIGiM: Sovremenyie problem melioracii zemel'*. Moskva, 161-173. [in Russian].

4. Bulaevskaia, I.D., Drachinskaia, E.S. (2006). *Aspektu analiza dolgosrochnoy dinamiky yrovnia gryntovuh vod v Khersonskoy oblasti*. [Aspects of analysis of long-term dynamics of groundwater level in the Kherson region]. *Ekologiia i resyrsu: Zb. nayk. prac' Instyty problem nacional'noii bezpechy RNBOU*, 14, 68-72. [in Ukrainian].

5. Vasilenko, I.L., Kal'nenko, I.F., Stokovskiy, V.S. (1987). *Formirovanie yrovennogo rezhima gruntovukh vod na Kakhovskoy orositel'noy sisteme*. [Formation of the level regime of groundwater in the Kakhovskaya irrigation system]. *Melioraciia i vodnoe hoziaistvo*, Kyiv: Urozhay, 67, 15-17. [in Russian].

6. Emel'ianov, V.A., Babenko, U.A., Matiakh, N.M., Shevchenko, U.A. (1992). *Vodnuy rezhum gryntovukh vod pri oroshenii DM «Fregat»*. [Water regime of soil-grounds with irrigation of the SM «Fregat»]. *Gidrotekhnika i melioraciia*, 1, 46-51. [in Russian].

7. Bygai, N.G., Vinogradov, S.G., Vnychkov, V.V. et al. (1987). *Drenazhnye sistemy v zone orosheniia*. [Drainage systems in the irrigation zone]. Kyiv: Urozhay. [in Russian].

8. Zhernov, I.E., Muramcev, N.N., Romashchenko, M.I. (1978). *Opredelenie infil'tracionnogo pitaniia po raschetam vlagoperenosa v zone aeracii*. [Determination of infiltration nutrition according to moisture transfer calculations in the aeration zone]. *Melioraciia i vodnoe hoziaistvo*, Kyiv: Urozhay, 44, 74-81. [in Russian].

9. Zhovtonog, O.I. (1986). *Obosnovanie metodiki planirovaniia polivov s ychetom neodnorodnosti pochvu na polyah*. [Justification of the irrigation planning method taking into account the heterogeneity of soil moistening in the fields]. Candidate's thesis. Kyiv. [in Russian].

10. Dypliak, V.D., Savchuk, D.P., Lesnichiy, V.N., Kezemka, I.P., Matiakh, N.M., Shevchenko U.A. (1992). *Kakhovskiy oroshaemuy masiv: drenazh i okhrana prirodu*. [Kakhovsky irrigated area: drainage and nature conservation]. *Melioraciia i vodnoe hoziaistvo*, Kyiv: Urozhay, 9-12, 31-35. [in Russian].

11. Oleunik, A.Ia. et al. (1986). *Metodicheskie rekomendacii po raschetam zashchitu territorii ot podtopleniia v zone orosheniia*. [Methodical recommendations on calculations of protection of territories from flooding in the irrigation zone]. Kyiv: Minvodhoz USSR, Institut Gidromekhaniki AN USSR. *Ukrigprovodkhoz*. [in Russian].

12. Nasedkin, I.U., Chernodolia, G.A., Zhiotov, A.D. (1983). *Formirovanie gidrogeologo-meliorativnoy obstanovki v zone Kakhovs'koy orositel'noy sistemu*. [Formation of hydrogeological and reclamation situation in the zone of the Kakhovskaya irrigation system]. *Melioraciia i vodnoe hoziaistvo*, Kyiv: Urozhay, 57, 27-29. [in Russian].

13. Morozov, O.V., Bidnuna, I.O., Morozov, V.V., Naydenov, V.G. (2014). *Otsinka sychasnogo gidrogeologo-meliorativnogo stany zemel' Kakhovs'kogo zroshyvanogo masivy*. [Estimation of modern hydrogeological and reclamation state of the Kakhovskaya irrigated land]. *Visnuk agrarnoi nauky Pruchornomor'ia*, 2, 103-111. [in Ukrainian].

14. Romashchenko, M.I. (1992). *Nekotorue aspekru obosnovaniia ymen'sheniia orositel'nykh norm*. [Some aspects of the justification for reducing irrigation norm]. *Vestnik YAAN*, 3, 33-39. [in Russian].

15. Romashchenko, M.I., Drachinskaia, E.S., Shevchenko, A.M. (2005). *Informatsiynne zabezpechennia zroshyvanogo zemlerobstva. Konceptsiia, stryktyra, metodologiia organizatsiii*. [Information provision for irrigated agriculture. Concept, structure, methodology of organization]. Kyiv: Agrarna nauka. [in Ukrainian].

16. Romashchenko, M.I., Grin', U.I., Konakov, B.I., Babitskiy, V.V. (2012). *Potreba y doshchyval'nyy tehnitsi dlia vidnovlennia zroshenia v Ukraine*. [Necessity in sprinklers for restoration of irrigation in Ukraine]. *Vistnik agrarnoi nauky*, 9, 44-48. [in Ukrainian].

17. Romashchenko, M.I., Savchuk, D.P. (1998). *Pidtoplennia Pivdnia Ukrainu: prichinu ta zapobizhni zakhodu*. [Flooding of the South of Ukraine: Causes and Precautionary measures]. *Vodne gospodarstvo Ukrainu*, 5-6, 6-12. [in Ukrainian].

18. Khimich, D.P., Tsvetova, E.V. (1979). *Balans gryntovukh vod i otsenka ikh infil'tratiionnogo pitaniia v ysloviakh tiazholukh pochvo-gryntov Kerchenskogo polystrova pri polivakh dozhdaval'nykh mashinami «Fregat»*. [Balance of groundwater and estimation of their infiltration nutrition in the conditions of heavy soils of the Kerch Peninsula under irrigation with sprinkler machines "Fregat"]. *Melioraciia i vodnoe hoziaistvo*, Kyiv: Urozhay, 47, 35-39. [in Russian].

**Д.П.Савчук, А.И. Харламов, И.В. Котикович**

**Эффективность закрытого горизонтального дренажа на фоне орошения ДМ «Фрегат»**  
Рассмотрены условия функционирования горизонтального дренажа самотечного типа на фоне орошения ДМ «Фрегат» в сложных природно-водохозяйственных условиях. Установлена скорость подъема уровней грунтовых вод на орошаемых массивах. Доказана целесообразность использования самотечного горизонтального дренажа глубокого заложения на орошении ДМ «Фрегат». Разработан комплекс инженерно-технических и технологических решений, которые позволят уменьшить водную нагрузку на дрены при орошении широкозахватной дождевальной техникой кругового действия.

**D.P. Savchuk, O.I. Kharlamov, I.V. Kotykovych**

**Effectiveness of closed horizontal drainage when irrigating with «Fregat» SM**  
The conditions for the functioning of the horizontal drainage of the gravity type when irrigating with "Fregat" SM under complex natural and water management conditions are considered. The rate of groundwater levels rise in irrigated arrays has been established. The feasibility of using of gravity horizontal drainage of a deep laying when irrigating with "Fregat" SM has been proved. A complex of engineering and technological solutions that will reduce the water load on the drains when irrigating with a wide-cut circular sprinkler has been developed.

DOI: 10.31073/mivg201801-114

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/114>

УДК 631.67:63.001.05;63.001.57

## ВРАХУВАННЯ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ПОСУХ ПРИ ПЛАНУВАННІ ЗРОШЕННЯ В ЗОНІ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

О.І. Жовтоног<sup>1</sup>, док. с.-г. наук, Л.А. Філіпенко<sup>2</sup>, канд. геогр. наук, Т.Ф. Деменкова<sup>3</sup>,  
В.В. Поліщук<sup>4</sup>, канд. с.-г. наук, Я.О. Бутенко<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> – Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

e-mail: olgzhovtonog10@gmail.com, filipenkolaris@gmail.com, tdemenkova@ukr.net,

vitaliyopolishchuk@ukr.net, iarynabulba@gmail.com

***Анотація.** Виконано оцінку змін теплового режиму та природної вологозабезпеченості на півдні України, визначено зміну середньодекадної температури повітря, суми опадів та збільшення частоти і інтенсивності посушливих явищ. На основі аналізу даних наземних спостережень та обробітку даних дистанційного зондування Землі запропоновано методи адаптації режимів зрошення до посушливих явищ.*

***Ключові слова:** зміни клімату, дистанційне зондування Землі, коефіцієнт природного зволоження, посуха, біокліматичний коефіцієнт, водоспоживання*

### Адаптація сільськогосподарського виробництва до змін клімату.

Глобальні зміни клімату та вплив антропогенної діяльності на ці процеси є міжнародною проблемою щодо відпрацювання інтегрованих заходів для адаптації до цих змін як на рівні країн, так і секторів економіки у цих регіонах.

Разом із потеплінням, все частіше спостерігаються прояви цілої низки негативних природних явищ, таких як підвищення кількості та інтенсивності посух, чергування посушливих періодів із періодами зі зливовими опадами та повенями та ін. [1]. Нещодавніми прикладами аномальних явищ в Україні було випадіння снігу у квітні, аномальне похолодання у травні 2017 р. та березні 2018 р., а також тривала посуха у більшості регіонів влітку 2017 р. Найбільш потерпає від зростання посух та шкідливої дії води при повенях аграрне виробництво, особливо у зоні Південного Степу.

Дослідженнями [2] доведено наявність в останні десятиріччя стійкої тенденції до збільшення посушливості клімату та зростання максимальних температур влітку, що призвело до збільшення періоду вегетації культур на два тижні. За таких тенденцій значно підвищується роль зрошення, як важливого заходу адаптації аграрного виробництва до змін клімату [3]. Державну політику у галузі водного господарства та меліорації земель орієнтовано на залучення інвестицій в модернізацію, реконструкцію, розвиток зрошувальних систем та забезпечення сталого

використання зрошення в першу чергу у Південному регіоні країни [4]. Вирішення проблеми відновлення та модернізації зрошувальних систем вимагає перегляду існуючих нормативів водопотреби у зрошенні. Для використання цих норм при плануванні відновлення, модернізації зрошувальних систем та їх експлуатації важливо враховувати не тільки сучасні зміни клімату, але й імовірні сценарії впливу цього процесу на майбутнє. Одним з таких сценаріїв є припущення продовження існуючої тенденції збільшення посушливості клімату на півдні України [2].

Для запобігання негативних наслідків збільшення посушливості клімату та прояву посух необхідна адаптація зрошувального землеробства як до глобальних змін клімату, так і до варіації екстремальних погодних явищ. Однією з важливих заходів такої адаптації є впровадження сучасних методів планування водокористування і режимів зрошення з урахуванням біологічних особливостей сільськогосподарських культур, властивостей ґрунтів, технологій зрошення, економічних, екологічних показників, соціальних умов сільської місцевості. Приватні інвестори вже починають вкладати власні кошти у реконструкцію та відновлення внутрішньогосподарських зрошувальних систем та насосних станцій, що забезпечить необхідну водоподачу для поливу сільськогосподарських культур у пікові періоди водопотреби у зрошенні. Все більше аграрних підприємств також вдаються до використання сучасних засобів наземного та космічного агромоніторингу і застосування

інформаційних систем для удосконалення управління технологіями зрошеного землеробства. У період 2012-2017 років у господарствах Херсонської області на площах до 10 000 га впроваджувалась інформаційна система оперативного планування зрошення «ГІС Полив» [5], виконувалась оцінка стану посівів та якості поливів із використанням космічних знімків [6, 7]. Поряд із забезпеченням оптимального водного режиму ґрунту при управлінні зрошенням в умовах посухи важливим є управління тепловим режимом приземного шару ґрунту для запобігання негативного впливу високих температур на продукційний процес рослин та процес їх водоспоживання. З метою адаптації існуючих методів довгострокового та оперативного планування зрошення до глобальних кліматичних змін та проявів посухи необхідним є проведення комплексних досліджень кліматичних змін на рівні регіонів та проявів посух протягом вегетації сільськогосподарських культур на рівні окремих господарств, що мають певну спеціалізацію та застосовують інтенсивне зрошення з використанням різних технологій.

**Мета та методика досліджень.** Метою досліджень було визначення напрямків удосконалення методів довгострокового та оперативного планування зрошення на основі вивчення тенденцій загальних змін клімату у регіоні Південного Степу України та особливостей прояву посух при сучасній практиці зрошення дощуванням.

Дослідження проводили паралельно на двох рівнях. На регіональному рівні на прикладі даних багаторічних спостережень (1992–2017 рр.) на метеостанції Херсон у Херсонській області вивчалась динаміка температури повітря та випадіння опадів, а також зміни умов природного зволоження у зоні Південного Степу за даними 15 метеостанцій.

На локальному рівні окремих господарств Херсонської області (Державне підприємство «Дослідне господарство «Асканійське» Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошеного землеробства Національної академії аграрних наук України» і Приватне акціонерне товариство «Фрідом Фарм Інтернешнл») виконували дослідження варіації погодних умов протягом вегетаційних сезонів 2012-2017 років та їх вплив на продуктивність сої при поливі дощуванням. У дослідженнях використовували дані впровадження інформаційної системи оперативного планування зрошення ІС «ГІС

Полив» [5] та системи космічного агромоніторингу стану посівів «Fieldlook» [8]. Основна увага приділялася оцінці динаміки метеопоказників, від яких в основному залежить випаровуваність у приземному шарі повітря та сумарне випаровування сільськогосподарських культур, тобто температурі і вологості повітря, швидкості вітру та кількості опадів. Для характеристики теплозабезпеченості міжфазних періодів було розглянуто добову динаміку температури повітря (середньої, максимальної та мінімальної), а також суми активних температур, відносну вологість повітря (%).

Природну вологозабезпеченість території оцінювали за кількістю опадів, їхнім розподілом протягом вегетації сої за формулою 1:

$$K_3 = \frac{\sum P + W_n}{\sum E}, \quad (1)$$

де  $P$  і  $E$  – середня багаторічна сума опадів і випаровуваності за період вегетації сої;  $W_n$  – активні вологозапаси метрового шару ґрунту на початку весни.

Протягом років досліджень було вивчено частоту та ступінь прояву посух та суховіїв, їх вплив на продуктивність сої та розвиток біомаси рослин у кожному вегетаційному сезоні. Для оцінки посух використовували такі критерії:

- тривалість бездошового періоду, коли протягом 10 і більше днів не було опадів, або їхня добова кількість не перевищувала 1 мм за добу;
- кількість днів з суховіями, коли спостерігались денні температури повітря вище 30°C, відносна вологість повітря менше 30 %, швидкість вітру більше 5 м/с [9];
- інтенсивність посухи за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК) [10-12].

$$K = \frac{P * 10}{\sum t}, \quad (2)$$

де  $P$  – сума опадів в мм за міжфазний період,  $\sum t$  – сума температур за даний період.

У локальних умовах двох господарств аналіз прояву посухи виконували за міжфазними періодами: посів – сходи – 3-й лист – бутонізація – цвітіння – формування бобів – дозрівання, а потім об'єднували їх у три періоди: початковий, критичний та період дозрівання.

Сумарне водоспоживання сої та оцінка приросту її біомаси здійснювали за результатами обробки даних космічних знімків за допомогою інформаційної системи «Fieldlook», що надавалися один раз на тиждень. При аналізі

даних космічних знімків величину біомаси пов'язували з величиною транспірації рослин та факторами, що її обмежували. При наявності хмарності супутникові дані коригували за допомогою наземних спостережень або розрахункових даних ІС «ГІС Полив».

**Результати досліджень.** Врахування змін клімату при визначенні водопотреби у зрошенні сільськогосподарських культур у зоні Південного Степу

На рис. 1 наведено динаміку середньої температури повітря за вегетаційний період 1992-2017 рр., де прослідковується зростання цього показника починаючи з 1998 р. порівняно з середньобагаторічним значенням, що становить 15,7°C.

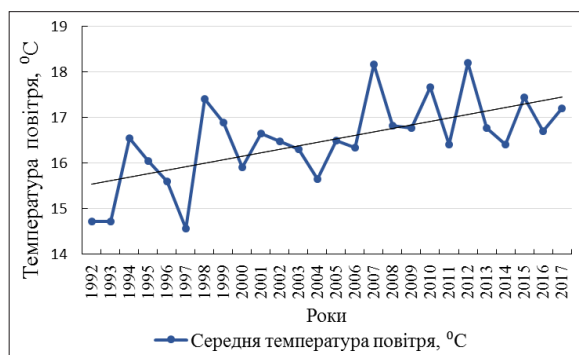


Рис. 1. Динаміка температури повітря

Аналіз багаторічного ряду суми опадів виявив тенденцію до їх зростання протягом всього періоду вегетації, що призвело до пере-

вищення кліматичної норми (222 мм) у середньому на 55 мм. Лише у 6-ти випадках сума опадів була меншою за норму, у інші роки їх кількість коливалась у межах 250-400 мм, що складає 113-180% від норми. Найбільші опади випадали у 1997, 2000 та 2016 роках, коли їх сума за вегетаційний період перевищувала 400 мм, а найпосушливішим був 2007 р. з відхиленням суми опадів від середньобагаторічної норми на 66% (рис. 2).

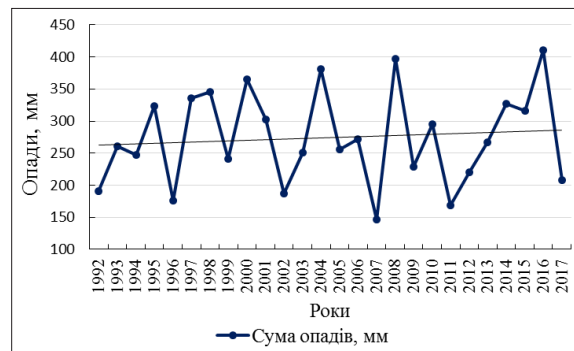


Рис. 2. Динаміка суми опадів

Найбільший приріст опадів спостерігався на початку та у середині вегетаційного періоду (11-18 мм за місяць), фактично не змінилася їхня сума у серпні. На фоні зростання загальної кількості опадів збільшилася частка злив на 15%, що призводило до поверхневого стоку. Також зросла тривалість бездошових періодів, в окремі роки вона досягала декількох декад.

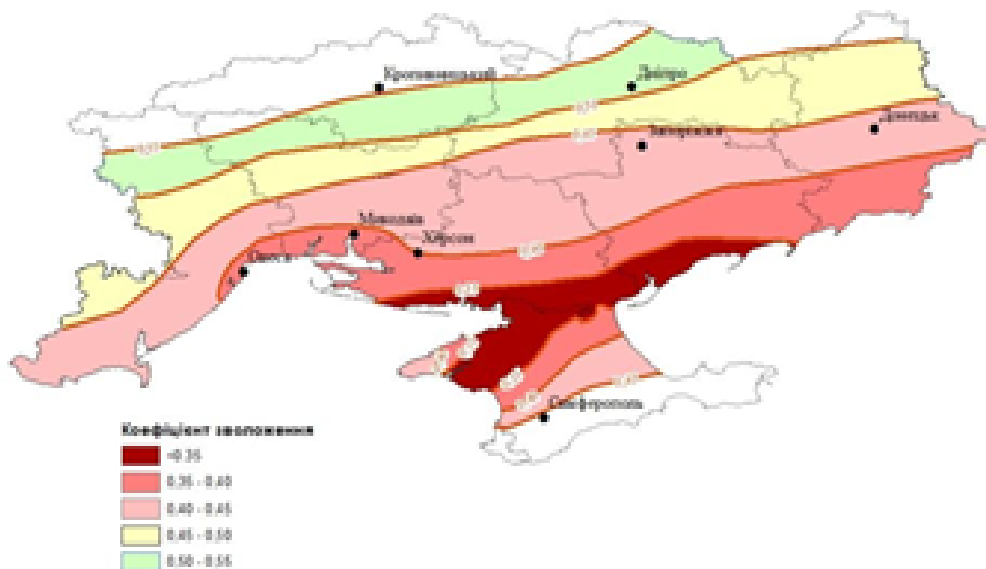


Рис. 3. Карта-схема районування Степу України за коефіцієнтом природного зволоження (Кз) 1991-2016 рр.

Районування Південного Степу за значеннями коефіцієнта природного зволоження (Кз) (рис. 3) показало, що спостерігається поширення території з підвищеною посушливістю, де Кз зменшується на 0,08-0,02, що складає 5-20% порівняно з попереднім районуванням, виконаним наприкінці минулого сторіччя [13]. Значення Кз у прибережній зоні Південного Степу знизилось до 0,35 і нижче, що свідчить про загрозу опустелювання. Додатковим чинником до того ж є знищення лісосмуг, що призводить до посилення вітрової ерозії. У зв'язку з цим було перераховано зрошувальні норми основних сільськогосподарських культур, що збільшилися порівняно з попередніми нормативами від 5 до 28 % [14].

Якщо існуюча тенденція зміни клімату збережеться протягом наступних 20-50 років, при розробці планів модернізації зрошувальних систем норми водопотреби слід збільшити ще на 10-20 % порівняно з районованими нормами. Одночасно поряд з визначенням загальних обсягів потрібних водних ресурсів важливо врахувати особливості внутрішньосезонного розподілу дефіциту водоспоживання сільськогосподарських культур та гідромодулю водоподачі на зрошення при типових схемах сівозмін, що зараз використовуються у виробництві.

Аналіз проявів посушливих явищ у господарствах протягом вегетаційних періодів 2012-2017 рр.

За період 2012-2017 рр. по двох пілотних господарствах у Херсонській області, де встановлено автоматизовані метеостанції, було виконано оцінку частоти і інтенсивності посух, детальний аналіз погодних умов за цей період та їх впливу на продуктивність сіль-

ськогосподарських культур на прикладі сої середньостиглої. Аналіз виконували за трьома укрупненими періодами розвитку.

Співставлення тривалості міжфазних періодів показало, що перший і третій періоди змінювалися по роках у широких межах (у півтора – два рази), що залежить значною мірою від температури повітря та вологозабезпеченості посівів. Другий (критичний) період був більш стабільним і його тривалість коливалась від 23 до 30 днів.

Аналіз даних метеорологічних спостережень свідчить, що близьким до норми за природною водозабезпеченістю поряд з 2013 р. був 2012 р., хоча внутрішньо сезонний розподіл опадів відрізнявся: більш вологим критичний період був у 2013 р., а третій період – у 2012 р. З 6-ти років найбільша кількість опадів спостерігалась у 2014 та 2016 роках (близько 150 % норми), а найменша – у 2015 р., всього 90 % норми. В усі роки досліджень найбільш забезпеченим опадами був перший період вегетації, в той час як критичний період, що має найбільший вплив для формування продуктивності, був дуже посушливим у 2012 та 2014 роках.

На рис. 4 наведено розподіл кількості опадів за трьома періодами вегетації (%) сої. Найбільш забезпеченим опадами за всі роки спостережень був 1-й період (62 %), посушливим – 3-й. Критичний період відрізнявся найбільшою варіацією опадів – від 5 до 32 %. Цей приклад є свідченням необхідності урахування внутрішньо сезонного розподілу параметрів погодних умов при розробці проектів модернізації зрошувальних систем, складанні річних планів водокористування та при оперативному плануванні зрошення.

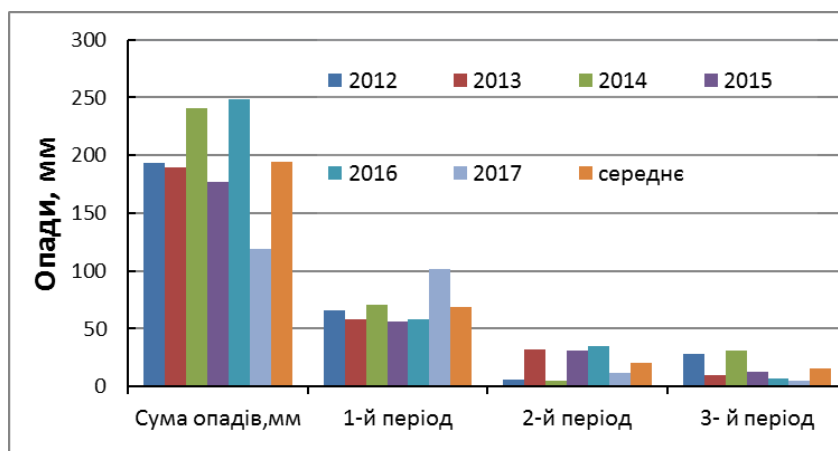


Рис. 4. Сума опадів за вегетаційний сезон (мм) та варіація розподілу суми опадів по укрупнених періодах вегетації сої середньостиглої за роки досліджень в ДП «ДГ «Асканійське» АДСДС ІЗЗ НААН»



Тривалість бездошових періодів була найбільшою (54-75 днів) у 2013 та 2015 роках, а середні її значення – у межах 25-30 днів.

Теплозабезпеченість с.-г. культур визначається сумою активних температур за періодами вегетації. В усі роки досліджень вона перевищувала 2500°C, що забезпечувало нормальний ріст та розвиток культури. Найбільш забезпеченим теплом був 2014 р., коли сума температур досягала 3200°C. Аналіз даних відносної вологості повітря показав, що у критичний період розвитку сої вона складала 60-72 %, у перший період розвитку – 60-87 %. Нижчими були її значення у третьому періоді – від 65 до 41 %, що свідчить про наявність у цей час посухи.

Найбільша кількість днів з максимальною температурою вище 30°C спостерігалася в 2012 році. Днів з мінімальною відносною вологістю повітря нижче 30 % було найбільше в 2014 році.

Важливою характеристикою, що визначає величину сумарного випаровування, є швид-

кість вітру. У середньому вона була невеликою – 1-3 м/с, але в окремі дні перевищувала 5-7 м/с. Суховійні явища, інтенсивність яких залежить від їх тривалості, коливались у межах 13-32 днів і лише у 2014 р. – 40 днів. Основна їх кількість припадає на 3-й період розвитку сої, а перші два періоди їх повторюваність була менше 10 днів.

Інтенсивність атмосферних посух оцінювали за значеннями ГТК [10], що розраховується за відношенням між сумою опадів та сумою температур за певний період, поділеною на 10. Е.К. Зоїдзе запропонував використовувати ГТК для оцінки інтенсивності атмосферної посухи за короткі періоди (місяць), а саме при величині ГТК більше 0,75 атмосферна посуха відсутня, 0,61-0,70 – слабка посуха, 0,40-0,60 – середня, 0,20 – 0,39 – сильна, ≤ 0,19 – дуже сильна [11, 12].

На рис. 5 наведено результати визначення інтенсивності та тривалості посух за результатами розрахунку ГТК.

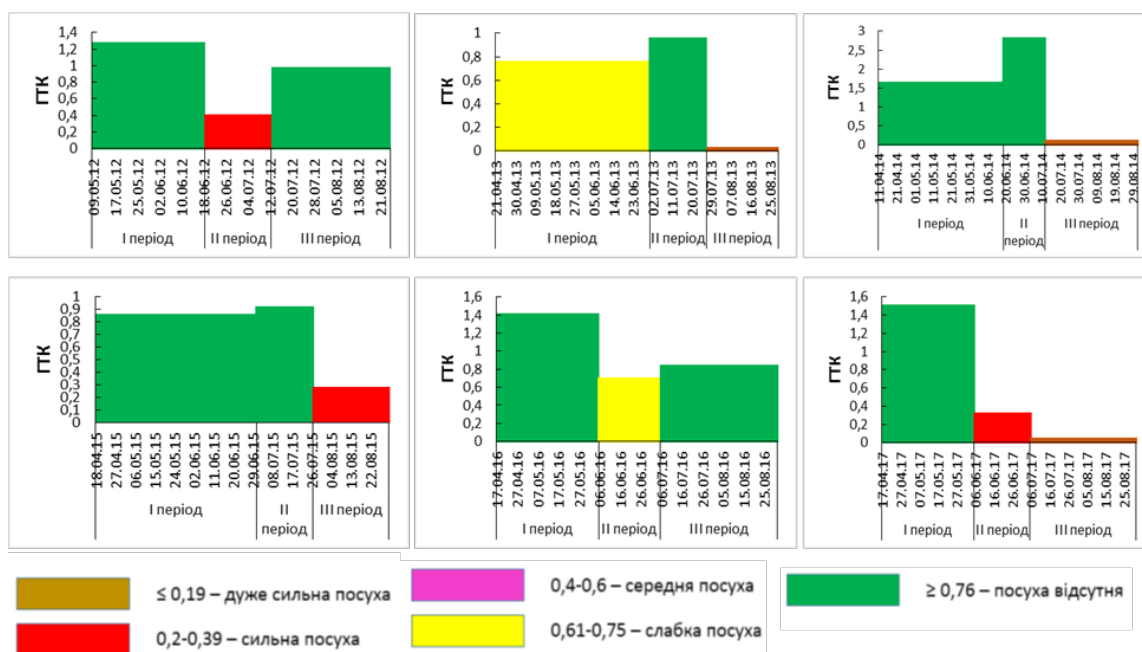


Рис. 5. Значення ГТК за міжфазні періоди у роки досліджень

За показниками ГТК літньо-осіння атмосферна посуха спостерігалась у 2013 р., а літня – у 2015, 2017 рр. За шість років досліджень особливо тривалою була посуха 2017 р., коли посушливою була більша частина літа (випало всього 76 мм опадів при нормі 115 мм), а величина ГТК знаходилася у межах від 0,31 до 0,03.

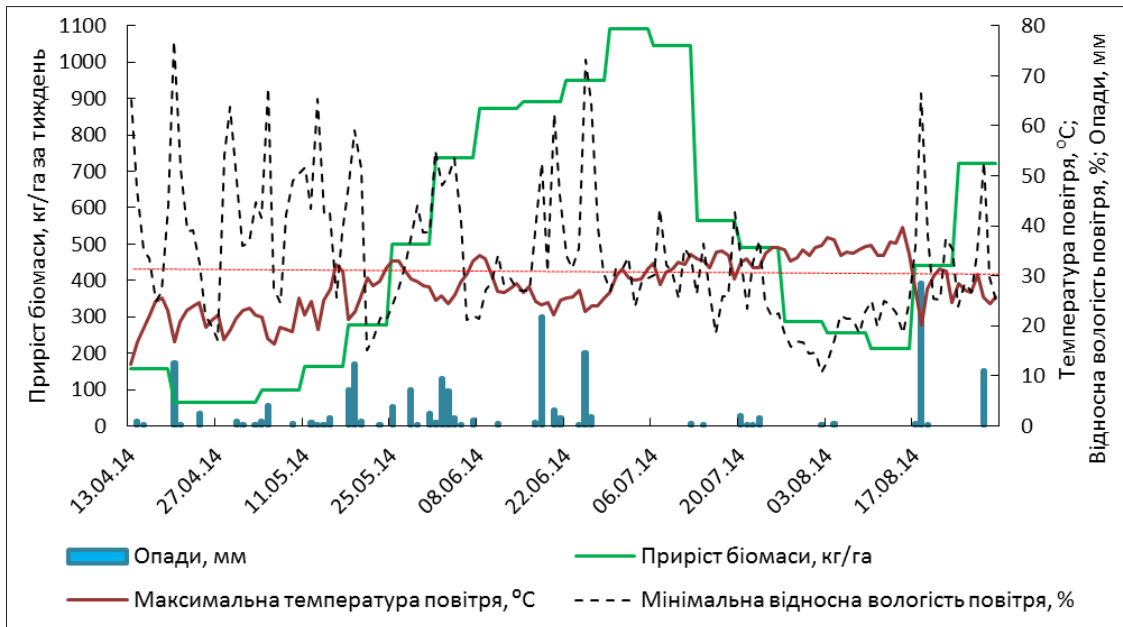
Виконаними дослідженнями підтверджено той факт, що за гостро посушливих умов,

незважаючи на інтенсивне зрошення, відбувається зниження швидкості приросту біомаси рослин. Звичайно, що приріст біомаси відбувається постійно, проте об'єм утворення сухої речовини знижується.

Так, у 2014 р. на початку сезону й протягом критичного періоду температура повітря піднімалась вище 30°C, проте періоди були нетривалими (до 5 днів). Починаючи з 8 липня

2014 р. денна температура повітря трималася вище оптимальної (30°C) протягом 40 днів. Температура в ці дні сягала 39°C, мінімальна відносна вологість повітря знижувалась до 10 %, в окремі дні швидкість вітру досягала

7 м/с. З другого спекотного тижня приріст біомаси почав знижуватись, а на 6-му тижні приріст становив лише 214 кг/га. Після зниження температури та випадіння опадів приріст сухої речовини трішки підвищився (рис. 6).

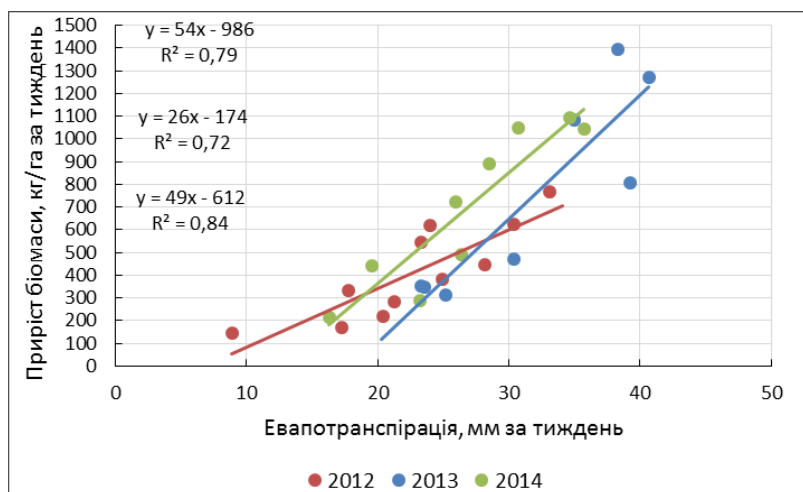


**Рис. 6. Динаміка приросту біомаси сої середньостиглої в 2014 р. залежно від метеорологічних показників (максимальна температура та мінімальна відносна вологість повітря, опади) в ПрАТ «Фрідом Фарм Інтернешнл»**

Зменшення приросту біомаси при тривалих та інтенсивних посухах впливає на рівень водоспоживання рослин. Значення сумарного випаровування (евапотранспірації), що отримано за допомогою інформаційної системи космічного моніторингу «Fieldlook», свідчить про суттєве зменшення водоспоживання сої

у роки, коли спостерігалась сильна та дуже сильна посуха.

За результатами досліджень окремих років, що визначались різними умовами прояву посухи, побудовано залежності (рис. 7) між приростом біомаси та евапотранспірацією протягом тижня.



**Рис. 7. Залежність між приростом біомаси сої середньостиглої та евапотранспірацією за даними ІС «Fieldlook» в 2012-2014 рр.**

Отримані залежності свідчать про відмінності процесів транспірації сої у роки з різною інтенсивністю посухи, що обумовлює необхідність внесення поправочного коефіцієнта до нормативного біокліматичного коефіцієнта при використанні розрахункових методів визначення евапотранспірації.

Дані поправочного коефіцієнта для років досліджень визначалися як відношення між значеннями евапотранспірації, що одержували за даними «Fieldlook» із врахуванням фактичного приросту біомаси та результа-

тами розрахунку евапотранспірації за ІС «ГІС Полив», що використовують нормативні біокліматичні коефіцієнти без врахування впливу посухи на динаміку транспірації рослин та приріст біомаси. Обробка результатів досліджень дозволила встановити залежність тривалості днів з температурами більше 30°C та величинами поправочних коефіцієнтів, що дає можливість коригувати розрахунки евапотранспірації залежно від інтенсивності прояву посухи у конкретному році (рис. 8).

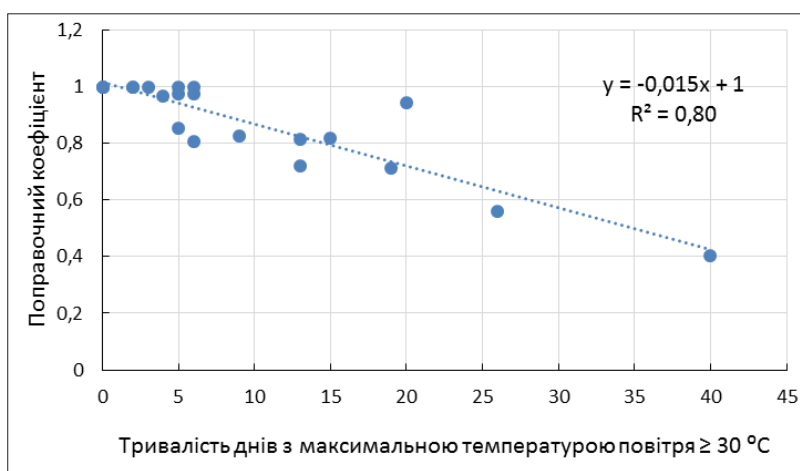


Рис. 8. Залежність між поправочним коефіцієнтом та тривалістю періоду з денними температурами більше 30°C

Коригування біокліматичних коефіцієнтів в умовах посухи забезпечує адекватне визначення потрібних обсягів води для поливу з врахуванням фактичного стану біомаси рослин та редукції евапотранспірації. Але для підтримання оптимальних умов водоспоживання та запобігання негативному впливу посухи важливим є управління мікрокліматом посівів за рахунок зниження температури та підвищення вологості повітря у приземному шарі ґрунту. Цього можна досягти за рахунок проведення в посушливі періоди зволожувальних поливів невеликим нормами, що можливо лише за умов застосування сучасної дощувальної техніки та поєднання цього заходу з іншими заходами, що можуть забезпечувати аналогічний мікрокліматичний ефект: оптимізація густоти посівів, облаштування лісосмуг, застосування мінімального обробітку ґрунту, застосування хімічних препаратів та ін. Існуюча практика зрошувального землеробства великих полів (60-100 га) при проведенні інтенсивних поливів нормами 400-500 м<sup>3</sup>/га не запобігає негативному впливу посух на темпи приросту біомаси рослин та відповідно

втратам урожаю сільськогосподарських культур. Отже, перед науковцями та виробництвом постає важливе завдання розробки комплексу заходів з адаптації зрошувального землеробства до умов екстремальних посух шляхом розвитку існуючих методів планування зрошення на основі інтегрованого моделювання процесів енергомасообміну у середовищі «ґрунт – рослина – атмосфера», перегляду існуючих технологій поливу та розробки інновацій щодо ведення землеробства в умовах екстремальних посух.

**Висновки.** У результаті досліджень змін клімату на регіональному та локальному рівні у зоні Південного Степу України встановлено його потепління протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур та водночас процеси зростання дії екстремальних погодних явищ, таких як посухи, суховії тощо. За вегетаційні сезони у період 1992-2017 років середньодобові температури повітря порівняно з багаторічною нормою збільшились в середньому на 0,8°C, а в окремі роки на 2,5°C (2007 р., 2012 р.); сума опадів на 55 мм. Зростання посушливості клімату за рахунок високих температур

повітря обумовлює необхідність постійного коригування норм водопотреби у зрошенні з врахуванням ймовірних кліматичних сценаріїв, як при розробці проектів відновлення та модернізації зрошувальних систем, так і при річному плануванні водокористування на зрошувальних системах та визначенні тарифів водоподачі на зрошення у господарства.

На фоні загального потепління клімату протягом останніх 6-ти років постійно спостерігались сильні та дуже сильні посухи у період критичного розвитку та наприкінці вегетації сільськогосподарських культур, тривалість яких досягала 47 днів. У ці періоди розвитку рослини є найбільш вразливими до високих денних температур (30-35°C і більше) та зниження вологості повітря до 30 %, тривалість бездощових періодів в окремі роки досягала 75 днів.

За умов екстремальних посух навіть на фоні оптимального зрошення відбувається

редукція водоспоживання сільськогосподарських культур та уповільнення розвитку біомаси. При вирощуванні сої прояви посух стають суттєвими при значеннях гідротермічного коефіцієнта у критичний період розвитку рослин у діапазоні 0,6-0,2 та 0,2-0,1 в останній період вегетації. За таких умов при плануванні режимів зрошення необхідно коригувати параметри моделей водоспоживання на основі даних водобалансових досліджень та результатів космічних знімків.

Для запобігання та пом'якшення негативного впливу посух на зрошуваних масивах Південного Степу України необхідним є запровадження інтегрованих заходів з управління мікрокліматом посівів шляхом: проведення зволожуючих поливів невеликим нормами; оптимізації густоти посівів; впровадження мінімальних технологій обробітку ґрунту та інших заходів.

### Бібліографія

1. *Предстоящие изменения климата. Совместный советско-американский отчет о климате и его изменениях.* / Под ред. Будыко М.И. и др. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 272 с.
2. Кульбіда М. І., Єлістратова Л. О., Барабаш М. Б. Сучасний стан клімату України // *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки.* 2013. Вип. 35. С. 118-130.
3. *Районування території України за рівнем забезпеченості гідротермічними ресурсами та обсягами використання сільськогосподарських меліорацій* / Тараріко Ю.О. та ін. Київ: ЦП «Компринт», 2015. 62 с.
4. *Управління процесом відновлення та сталого використання зрошення* // *Меліорація і водне господарство* / Ромащенко М.І. та ін. Київ: ВП «Едельвейс», 2014. Вип. 101. С. 137-147.
5. «Комп'ютерна програма «Інформаційна система оперативного планування зрошення ІС «ГІС Полив» («ІС «ГІС Полив»))», автори: Жовтоног О.І. та ін. (Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір № 54650 від 07.05.2014)
6. *Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing* // *Physics and Chemistry of the Earth. Roerink, G.J. et. ISSN 1474-7065.* 2003. №28. P. 103-109.
7. *Інструменти підтримки прийняття рішень у зрошуваному землеробстві за даними наземного та дистанційного моніторингу* // *Збірник статей Науково-практичної конференції із міжнародною участю "Вода: проблеми та шляхи вирішення"* / Жовтоног О.І. та ін. Житомир: Вид-во ЕЦ «Укрекобіокон», 2017. С. 108-114.
8. *Спутниковый анализ состояния ваших полей [Електронний ресурс] – Режим доступа: www.fieldlook.ru, для доступу до інформ.ресурсам потрібна авторизація. – Назва з екрану*
9. *Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур.* Київ: Ніка-Центр, 2010, 620 с. ISBN 978-966-521-532-5
10. *Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух. В кн.: Засухи в СССР. Их происхождение, повторяемость и влияние на урожай.* Ленинград: Гидрометеиздат, 1958. С. 5-29.
11. *Грингоф И. Г., Пасечнюк А.Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения,* СПб., 2005. 552 с.
12. *Зондзе Е. К. О подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата в Российской Федерации* // *Метеорология и гидрология.* 2004. Вып. 1. 96 с.
13. *Укрупненные нормы водопотребности для орошения по природно-климатическим зонам СССР: Утв. М-вом мелиорации и вод. хоз-ва СССР 12.12.83. [Срок введ. в действие 01.01.84]. – М. : Б. и., 1984. 346 с.*

14. Тимчасові районовані норми водопотреби сільськогосподарських культур для зрошення дощуванням/ Жовтоног О.І. та ін. Київ: Аграрна наука, 2015. 24 с.

### References

1. Budyko, M.I., Izrael, Yu. A., Makkaraken, M.S., Hekhta, A.D. (Ed.). (1991). *Predstoyashchiye izmeneniya klimata. Sovmestnyi sovetsko-amerikanskiy otchet o klimate i yego izmeneniyakh* [The upcoming climate change. Joint Soviet-American report on climate and its changes]. Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian].
2. Kulbida, M.I., Elistratova, L.O., Barabash, M. B. (2013). *Suchasnyy stan klimatu Ukrayiny. Problemy okhorony navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha ta ekolohichnoyi bezpeky* [The current state of Ukraine's climate. Problems of environmental protection and ecological safety]. Kharkiv: Raider. [in Ukrainian]
3. Tarariko, YU.O., Saydak, R.V., Soroka, YU.V., Vitvits'ky, S.V. (2015). *Rayonuvannya terytoriyi Ukrayiny za rivnem zabezpechenosti hidrotermichnymy resursamy ta obsyahamy vykorystannya sil's'kohospodars'kykh melioratsiy* [The zoning of the territory of Ukraine by the level of availability of hydrothermal resources and volumes of use of agricultural land reclamation]. Kyiv: Komprint. [in Ukrainian]
4. Romashchenko, M.I., Zhovtonog, O.I., Kruchenyuk, V.D., Saydak, R.V., Knysh V.V. (2014). *Upravlinnya protsesom vidnovlennya ta staloho vykorystannya zroshennya. Melioratsiya i vodne hospodarstvo* [Managing the restoration and sustainable use of irrigation]. Kyiv. [in Ukrainian]
5. Zhovtonoh, O.I., Filipenko, L.A., Demenkova, T.F., Babych, V.A., Polishchuk, V.V. (2014). *Komp'yuterna prohrama. Informatsiyna systema operatyvnoho planuvannya zroshennya IS GIS Polyv* [Computer program Informational system of irrigation planning](Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'kykh prav na tvir № 54650 vid 07.05.2014. [in Ukrainian]
6. Roerink, G. J., Menenti, M., Soepboer, W., & Su, Z. (2003). *Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing. Physics and chemistry of the earth.*
7. Zhovtonog, O.I., Polishchuk, V.V., Didenko, N.O., Bulba, YA.O., Salyuk, A.F. (2017). *Instrumenty pidtrymky pryynyattya rishen' u zroshuvanomu zemlerobstvi za danymy nazemnoho ta dystantsiynoho monitorynhu* [Decision Support Tools in irrigated agriculture, according field and remote monitoring]. *Voda: problemy ta shlyakhy vyrishennya: Mizhnarodna nauk.-praktych. konf. Zhytomyr, 108-114.* [in Ukrainian]
8. *Sputnikovyy analiz sostoyaniya vashikh poley* [Satellite analysis of the fields' conditions]. (n.d.) Retrieved from <https://www.fieldlook.ru>.
9. Dmytrenko, V.P. (2010). *Pohoda, klimat i urozhay pol'ovykh kul'tur* [Weather, climate and field crops]. Kyiv: Nika-Tsentr. [in Ukrainian]
10. Selyaninov, G.T. (1958). *Proiskhozhdeniye i dinamika zasukh. Zasukhi v SSSR. Ikh proiskhozhdeniye, povtoryayemost' i vliyaniye na urozhay* [The origin and dynamics of droughts. In the book: Drought in the USSR. Their origin, repeatability and impact on yield]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 5-29. [in Russian]
11. Gringof, I. G., Pasechnyuk, A.D. (2005). *Agrometeorologiya i agrometeorologicheskiye nablyudeniya* [Agrometeorology and agrometeorological observations]. [in Ukrainian]
12. Zoidze, Ye. K. (2004). *O podkhode k issledovaniyu neblagopriyatnykh agroklimaticheskikh yavleniy v usloviyakh izmeneniya klimata v Rossiyskoy Federatsii. Meteorologiya i gidrologiya* [On the approach to the study of adverse agro-climatic phenomena in a changing climate in the Russian Federation. Meteorology and hydrology]. [in Ukrainian]
13. *Ukrupnennyye normy vodopotrebnosti dlya orosheniya po prirodno-klimaticheskim zonam SSSR: Utv. M-vom melioratsii i vod. khoz-va SSSR 12.12.83.* [Integrated water requirements for irrigation in the natural-climatic zones of the USSR: Approved. Ministry of Land Reclamation and Water. Households of the USSR 12.12.83]. [in Ukrainian]
14. Zhovtonog, O.I., Filipenko, L.A., Polishchuk, V.V., Demenkova, T.F., et al (2015). *Tymchasovi rayonovani normy vodopotreby sil's'kohospodars'kykh kul'tur dlya zroshennya doshchuvannyam* [Temporary water requirements for crops for irrigation with sprinkling]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian]

**О.И. Жовтоног, Л.А. Филиппенко,**

**Т.Ф. Деменкова, В.В. Полищук, Я.А. Бутенко**

**Учет изменений климата и интенсивности засух при планировании орошения  
в зоне Юной Степи Украины**

*Выполнена оценка изменений теплового режима и природной влагообеспеченности на юге Украины, определена смена среднедекадной температуры воздуха, суммы осадков и увеличение частоты и интенсивности засушливых явлений. На основе анализа данных наземных наблюдений и обработки данных дистанционного зондирования Земли предложены методы адаптации режимов орошения в период засушливых явлений.*

**O. Zhovtonog, L. Filipenko,**

**T. Demenkova, V. Polishchuk, Ya. Butenko**

**Irrigation Planning Taking into Account Climate Change and droughts intensity  
in the Steppes Zone of South Ukraine**

*An estimation of changes in the thermal regime and natural moisture content in the south of Ukraine has been made. The average air temperature and the amount of precipitation per decade as well as the increase in frequency and intensity of droughts have been determined. Droughts adaptation methods for irrigation planning are proposed based on field observations and Remote Sensing.*

DOI: 10.31073/mivg201801-120

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/120>

УДК 631.53.01

## ІНТЕНСИВНІСТЬ ЕМІСІЇ CO<sub>2</sub> З ҐРУНТІВ ПОЛІССЯ ПІД ЧАС ВЕГЕТАЦІЇ КУЛЬТУР ТА ДОМІНАНТНІСТЬ ЗУМОВЛЮЮЧИХ ЇЇ ЧИННИКІВ

П.І. Трофименко<sup>1</sup>, канд. с.-г. наук, Н.В. Трофименко<sup>2</sup>, канд. екон. наук

<sup>1</sup> ННІ «Інститут Геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна; e-mail: trofimenkopetr@ukr.net

<sup>2</sup> ННІ «Інститут Геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна; e-mail: nvtrofimenkonv@rambler.ru

**Анотація.** У роботі представлені результати досліджень інтенсивності емісії CO<sub>2</sub> з ґрунтів різного гранулометричного складу та ступеня гідроморфності Полісся України під час вегетації культур та домінантності зумовлюючих її чинників. Встановлено величини середньої за період спостережень величини емісії CO<sub>2</sub> з ґрунтів, кг/га/год: торфувато-болотний карбонатний осушений, 14,3 > чорноземно-лучний карбонатний пилувато-легкосуглинковий, 9,8 > ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний, 8,9 > сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий, 8,8 > темно-сірий опідзолений глейовий легкосуглинковий, 8,2 > дерново-середньопідзолистий глеюватий супіщаний, 6,9 > дерново-середньопідзолистий глеюватий легкосуглинковий, 6,3. Виявлено, що обсяги емісії CO<sub>2</sub> з ґрунтів залежать від типу ґрунту, його характеристик та комплексного впливу абіотичних чинників. Коефіцієнти парної кореляції (r) між значеннями середньої інтенсивності емісії в досліджуваних ґрунтах та величинами: дрібного пилу (частки 0,005-0,001, мм), вуглецю органічної речовини, лужногідролізуемого азоту, температури земної поверхні та вологості відповідно становлять 0,90, 0,92, 0,90, -0,93, 0,86. Доведено, що значення ESO<sub>2</sub> в ґрунтах на 94,7% зумовлені сумісним впливом декількох чинників, в тому числі: вмістом дрібного пилу (43,7%), вмістом вуглецю органічної речовини (24,0%), вологістю (20,0%) та температурою земної поверхні (7,0%).

**Ключові слова:** ґрунти Полісся, емісія, CO<sub>2</sub>, органічна речовина, домінантність чинників, вегетація культур

**Постановка проблеми.** Загальновідомо, що часова динаміка зміни величин, які визначають інтенсивність продукування ґрунтами діоксиду вуглецю під час вегетації культур, залежить від цілої низки факторів: типу ґрунту, сільськогосподарської культури та етапів її органогенезу, умов рельєфу (експозиції схилу), температури повітря та ґрунту, кількості доступної для рослини ґрунтової вологи та повітря, а також концентрації CO<sub>2</sub> у надґрунтовому шарі повітря в конкретний момент спостережень. Наявність або відсутність у ґрунті достатньої кількості живих мікроорганізмів, їх оптимального якісного складу в цілому довершують сучасний науково доведений перелік чинників, що визначають характер ґрунтового дихання та процесів дисипації двоокису вуглецю. До того ж інтенсивність продукування CO<sub>2</sub> ґрунтом завжди має характер осциляцій, що свідчить про утворення в ґрунтовому середовищі неоднаково комфортних умов для її перебігу.

Дефіцит у ґрунті органічної речовини часто стає вирішальним чинником початку процесу її мінералізації. У меліорованих агроєкосистемах, які зазнають додаткового агроген-

ного навантаження у порівнянні з богарними, органічний вуглець має характерні особливості руху та трансформування [2]. Зважаючи на вищезазначене, та враховуючи виключну динамічність умов ґрунтового середовища, існує проблема встановлення параметрів продукування ґрунтом CO<sub>2</sub> та виявлення ролі окремих ґрунтових і абіотичних чинників в цьому процесі.

**Актуальність дослідження.** Зважаючи на вищезазначене, дослідження сукупності та часової приуроченості обумовлюючих емісію діоксиду вуглецю з ґрунту чинників в межах вегетаційного періоду сільськогосподарських культур потребують більш детального вивчення та наукового трактування. А вдосконалення підходів, методів проведення та способів реалізації моніторингу за окремими пулами біогенних елементів в загальному кругообігу речовини та енергії, у першу чергу органічного вуглецю, мають пріоритетне значення.

**Мета дослідження.** Метою проведених досліджень було встановлення особливостей продукування CO<sub>2</sub> ґрунтами Полісся під час вегетації сільськогосподарських культур та

закономірностей впливу чинників, що їх спричиняють.

Задачі досліджень передбачали проведення систематичних моніторингових спостережень за перебігом емісії CO<sub>2</sub> з основних типів ґрунтів різного гранулометричного складу та ступеня гідроморфності з одночасним вимірюванням основних величин, які на них впливають.

#### Матеріали і методи дослідження.

Комплекс досліджень передбачав виконання польових робіт на попередньо закладених моніторингових точках та проведення лабораторних аналізів. Дослідження на основі вдосконаленого статичного камерного методу [3, 5] проводили у 2018 р. на вирівнювальних посівах сільськогосподарських культур у межах території дослідного поля Житомирського національного агроекологічного університету. Періодичність польових вимірювань – один раз на сім днів, з 9 до 16 години. Замір концентрації CO<sub>2</sub> проводили з допомогою газоаналізатора Testo-535 з інфрачервоним сенсором, забезпечуючи триразову повторність. Час експозиції 5 хвилин. Камеру з параметрами d = 0,14 м, H = 0,50 м, V = 0,015386 м<sup>3</sup> встановлювали на вільний від рослинності ґрунт та заглиблю-

вали її на глибину 3 см. За необхідності наявну на поверхні рослинність попередньо зрізали. Одночасно з вимірюванням емісії проводили замір температури повітря, ґрунту та атмосферного тиску. Визначення вологості ґрунту у шарі 0-10 см (% об'ємної вологи) проводили методом частотної рефлектометрії з використанням вологоміра MST 3000+ з сенсором SMT 100, забезпечуючи 6-ти разову повторність вимірювань.

У відібраних з шару 0-30 см ґрунтових зразках визначали: гранулометричний склад ґрунтів за Качинським ДСТУ 4730:2007, вміст лужногідролізуемого азоту за Корнфілдом ДСТУ 4729, вуглець органічної речовини ДСТУ 4289, рухомий фосфор та обмінний калій ДСТУ 4115–2002, рН сольовий ГОСТ 26483–85. Статистичну обробку результатів досліджень проведено у програмах Statistica 6.0 та Excel 2010.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Обрані для досліджень ґрунти поширені на території перехідної частини зони Полісся України, мають ознаки гідроморфності і використовуються в межах функціонування осушувальної системи. Основні показники їх ґрунтової родючості представлені в таблиці 1.

### 1. Основні показники родючості досліджуваних ґрунтів

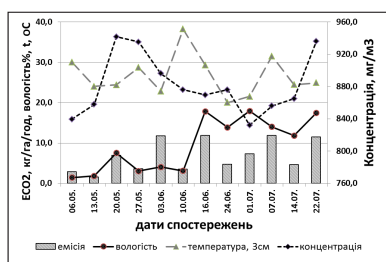
№ з/п	Назва ґрунту, угіддя, сільськогосподарська культура, номер моніторингової точки	Показники властивостей					
		Σ < 0,01мм, %	Сорг, %	NH <sub>4</sub> -NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pHКCl
1	Дерново-середньопідзолистий глеюватий супіщаний ґрунт, FG*, жито озиме, тт. 5,6	14,8	0,70	15,2	122,2	165,7	4,5
2	Дерново-середньопідзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт, FG, жито озиме, т. 7	25,0	1,02	15,1	70,7	204,9	5,0
3	Ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний ґрунт, LV, підстелених з глибини 1,0-1,5м FG, пшениця озима, овес ярий, тт. 8-13	16,1	0,80	15,0	80,4	82,8	4,4
4	Сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий ґрунт, LV, підстелений FG, овес ярий, тт. 14, 15	24,3	1,16	29,4	113,8	146,1	5,2
5	Темно-сірий опідзолений глейовий легкосуглинковий ґрунт, LS, підстелених з глибини 1,0-1,5м FG, гречка, лучна рослинність, тт. 1,4	26,2	1,76	12,2	210,7	93,4	5,4
6	Чорноземно-лучний карбонатний, пилувато-легкосуглинковий ґрунт LS, гречка, т. 2	27,9	2,17	18,9	196,1	75,3	5,5
7	Торфувато-болотний карбонатний осушений ґрунт FG, болотна рослинність, т. 3	23,3	9,08	103,2	64,1	75,3	7,2

\*Примітка: ґрунтоутворюючі породи: FG – флювіогляціальні відклади; LV – лесовидні відклади; LS – лесовидні суглинки.

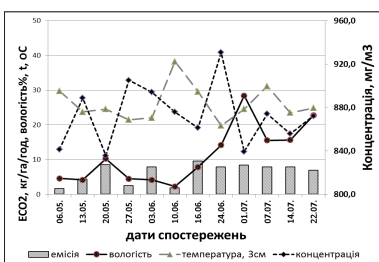


Результати досліджень свідчать про виключну динамічність обсягів емісії діоксиду вуглецю з ґрунту та зумовлюючих її величину показників. (рис. 1). Абсолютні значення середньої за період спостережень величини емісії CO<sub>2</sub> з ґрунтів розташували їх за зниженням значень інтенсивності, кг/га/год: торфувато-болотний карбонатний осушений, 14,3 > чорно-

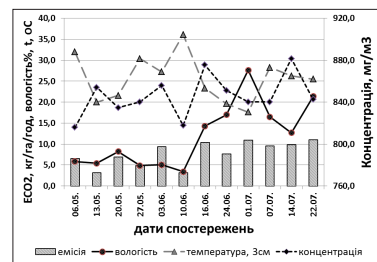
земно-лучний карбонатний пилувато-легкосуглинковий, 9,8 > ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний, 8,9 > сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий, 8,8 > темно-сірий опідзолений глейовий легкосуглинковий, 8,2 > дерново-середньопідзолистий глеюватий супіщаний ґрунт, 6,9 > дерново-середньопідзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт, 6,3.



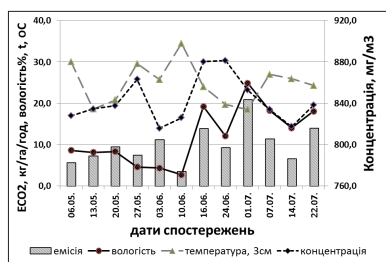
Дерново-середньопідзолистий глеюватий супіщаний ґрунт, FG, жито озиме, тт. 5,6.



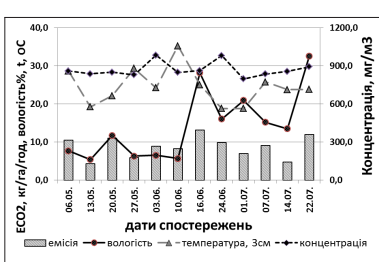
Дерново-середньопідзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт, FG, жито озиме, т.7.



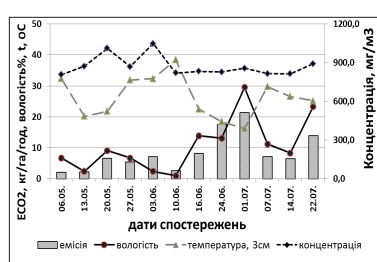
Ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний ґрунт, LV, підстелені з глибини 1,0-1,5м FG, пшениця озима, тт. 8-10.



Ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний ґрунт LV, підстелені з глибини 1,0-1,5м FG, овес ярий, тт. 11-13.



Сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий ґрунт, LV, підстелені FG, овес ярий, тт. 14-15.



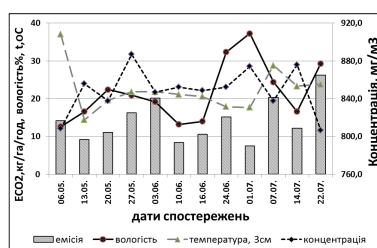
Темно-сірий опідзолений глейовий легкосуглинковий ґрунт, LS, підстелений з глибини 1,0-1,5м FG, гречка, т. 4.



Темно сірий опідзолений глейовий легкосуглинковий ґрунт, LS, підстелені з глибини 1,0-1,5м FG, пасовище, лучна рослинність т. 1.



Чорноземно-лучний карбонатний, пилувато-легкосуглинковий ґрунт, LS, гречка, т. 2.



Торфувато-болотний карбонатний осушений ґрунт, FG, болото прохідне, болотна рослинність, т.3.

**Рис. 1. Динаміка середніх значень емісії CO<sub>2</sub> з досліджуваних ґрунтів Полісся України та зумовлюючих їх чинників під час вегетації культур. Показники: вологість у шарі 0-10 см, %, температура ґрунту на глибині 3 см, t OC, концентрація CO<sub>2</sub> на висоті 0,50 м, мг/м<sup>3</sup>**

Фактично за величиною  $ЕСО_2$  утворилися 3 групи ґрунтів. До першої – з високими значеннями емісії – увійшли органо-мінеральний та чорноземно-лучний карбонатні ґрунти з найвищим вмістом органічної речовини, відносно невисокою інтенсивністю її розкладу та середнім ступенем мінералізації. Другу сформували опідзолені ґрунти різного гранулометричного складу та ступеня гідроморфності з близькими значеннями  $ЕСО_2$ , які характеризуються спільним типом ґрунтоутворення та середнім рівнем розкладу та мінералізації органічної речовини. До третьої увійшли дерново-підзолисті глеуваті супіщані й легкосуглинкові ґрунти з низьким рівнем потенційної родючості, високою інтенсивністю розкладу та мінералізації в них органічної речовини.

Встановлено, що відчутний вплив на перебіг емісії спричиняють: температура на глибині 3 см, концентрація  $СО_2$  в надґрунтовому шарі повітря (на висоті 0,50 м) та вологість у шарі 0-10 см (рис. 1). Мінімальні викиди  $СО_2$  приурочені до мінімальних величин ґрунтової вологи, що характерно для значної частини ґрунтів: дерново-підзолистих супіщаного та легкосуглинкового, ясно-сірого супіщаного, чорноземно-лучного карбонатного пілувато-легкосуглинкового, а також глейових ґрунтів. Ґрунтовий профіль останніх формувався за умов постійного або тривалого зволоження і набув негативних воднофізичних властивостей. Крім того, як відомо,

їх ґрунтово-вбирний комплекс містить токсичні полуторні окисли заліза та алюмінію, які пригнічують розвиток ґрунтових мікроорганізмів, задіяних у процесах розкладу органічної речовини. Тому означені ґрунти є найбільш чутливими до умов нестачі вологи саме в контексті процесів продукування  $СО_2$ .

Встановлено, що роль окремих зумовлюючих емісію факторів упродовж періоду досліджень помітно змінювалася. Спостерігалася певна домінантність окремих чинників емісії, яка була приурочена до певних часових інтервалів вегетаційного періоду.

Під домінантністю чинника емісії ґрунтом  $СО_2$  ми розуміли його здатність у певному часовому інтервалі вегетаційного періоду рослин виступати в ролі головного (домінуючого) компонента. Тривалість періоду, упродовж якого відбувається найбільш відчутний вплив окремого чинника на перебіг процесів продукування ґрунтом двоокису вуглецю, визначає рівень його конкурентності поряд з іншими факторами. Найбільш показово домінантність чинників емісії  $СО_2$  демонструють кореляційні коефіцієнти в межах періоду спостережень, обраховані для кожного дня спостережень (табл. 2).

На ранніх етапах органогенезу ярих культур (1-3 листки – кущення – вихід у трубку) та у фазах кущення – вихід у трубку – прапорцевий листок озимих зернових упродовж травня – початку червня (до 10.06.2018 року) спостерігався дефіцит ґрунтової вологи,

## 2. Домінантність чинників емісії $СО_2$ досліджуваних ґрунтів під час вегетації сільськогосподарських культур (06.05.18 – 22.07.18)

№ з/п	Дата	Показники				
		атмосфери		ґрунту		
		концентрація $СО_2$ у повітрі на висоті 0,50 м	атмосферний тиск	температура ґрунту на глибині 3 см	температура на поверхні ґрунту	вологість ґрунту
1	06.05.	0,38	<b>0,69</b>	0,14	0,14	<b>0,59</b>
2	13.05.	-0,22	0,16	-0,43	-0,21	<b>0,83</b>
3	20.05.	-0,06	0,11	0,10	0,00	0,42
4	27.05.	-0,03	0,12	-0,43	-0,12	<b>0,87</b>
5	03.06.	-0,54	0,35	-0,15	0,37	<b>0,67</b>
6	10.06.	0,10	0,02	<b>-0,60</b>	0,03	<b>0,74</b>
7	16.06.	<b>0,57</b>	0,02	0,30	0,27	0,50
8	24.06.	0,30	<b>-0,70</b>	-0,27	0,36	0,19
9	01.07.	<b>0,58</b>	0,15	-0,19	-0,07	-0,14
10	07.07.	0,27	0,34	0,11	<b>-0,67</b>	0,41
11	14.07.	0,06	0,07	0,03	<b>0,71</b>	0,36
12	22.07.	-0,36	<b>0,53</b>	-0,36	-0,11	0,14

\*Примітка: мінімальна значуща величина  $t_{\min} = 0,55$

що підтверджує динаміка емісії CO<sub>2</sub> (рис. 1, табл. 2, стовпець 7). У зазначений інтервал часу вологість ґрунтів виступала в ролі визначального фактора ґрунтової емісії.

У другій половині вегетації культур, включаючи фази колосіння, цвітіння, молочно-воскової та повної стиглості зернових культур, роль вологості у підсиленні емісії CO<sub>2</sub> певною мірою нівелювалася. Обсяги емісії CO<sub>2</sub> на ґрунтах збільшувалися, у першу чергу, внаслідок зниження інтенсивності його асиміляції рослинами. Крім того, на стадіях дозрівання рослин структура пулу діоксиду вуглецю, що продукується ґрунтами, починала змінюватися в тому числі «за рахунок» надходжень CO<sub>2</sub>, утвореного в результаті розкладу відмерлих частин кореневих систем, які не використовували рослини (рис. 1). В якості домінуючих виступали чинники атмосфери та температура ґрунту (табл. 2), однак вели-

чина їх реального впливу була неоднаковою. Відносно індиферентним до впливу різних емісійно стимулюючих чинників в другій частині періоду досліджень виявився глеюватий легкосуглинковий ґрунт на водно-льодовикових відкладах під житом озимим (див. рис. 1). Враховуючи більш важкий (легкосуглинковий) гранулометричний склад наслідки прояву негативного впливу гідроморфності в цьому ґрунті виявилися більш відчутними.

Наведені дані свідчать про те, що основу емісійної активності ґрунтів Полісся складають найбільш сталі у часі ознаки – гранулометричний склад (вміст дрібного пилу) ( $r = 0,90$ ) та вміст вуглецю органічної речовини ( $r = 0,92$ ). Зважаючи на високий кореляційний зв'язок між значеннями останньої величини та вмістом у ґрунті лужно-гідролізуемого азоту, високий коефіцієнт його кореляції з емісією CO<sub>2</sub> ( $r = 0,90$ ) також легко пояснити.

### 3. Коефіцієнти парної кореляції величин показників властивостей ґрунтів та їх абіотичних характеристик

№ з/п	Показники					
	властивостей ґрунтів				абіотичні	
	емісія CO <sub>2</sub>	вміст часток 0,005-0,001, мм	вуглець органічної речовини	лужногідролізуемий азот	температура ґрунтової поверхні	вологість ґрунту
1	1,0	<b>0,90*</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>-0,93</b>	<b>0,86</b>
2		1,0	<b>0,79</b>	0,72	<b>-0,80</b>	0,67
3			1,0	<b>0,97</b>	<b>-0,95</b>	<b>0,90</b>
4				1,0	<b>-0,97</b>	<b>0,96</b>
5					1,0	<b>-0,94</b>
6						1,0

\*Примітка: мінімальна значуща величина  $r_{\min} = 0,79$

Показник температури поверхні ґрунту виступає в ролі фактора, що пригнічує продукування двоокису вуглецю ґрунтами ( $r = -0,93$ ). За умов гострої нестачі ґрунтової вологи отримані результати вважаються закономірними [1, 4, 6].

Зважаючи на підвищення середньої температури повітря в теплий період року на території України, виявлену залежність слід вважати закономірною і такою, що буде мати тенденцію до підсилення. Тому на меліорованих землях складні кліматичні умови вимагатимуть від землекористувачів бережливого ставлення до використання наявних водних ресурсів.

Підсилюючий або уповільнюючий вплив атмосферного тиску на емісію ґрунтів у відповідності до законів термодинаміки за трива-

лістю є короткостроковим, а за абсолютною величиною незначним. Тому під час виконання множинної регресії нами не враховувався (рис. 2).

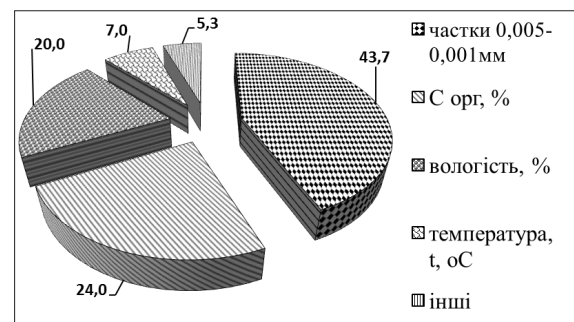


Рис. 2. Структура впливу показників ґрунту та їх абіотичних чинників на величину емісії CO<sub>2</sub> ґрунтами Полісся

Високі значення парних коефіцієнтів кореляції не дозволяють адекватно оцінити ступінь їх реального впливу на формування обсягів емісії CO<sub>2</sub>. Натомість результати регресійного аналізу дозволили врахувати характер та величину впливу абіотичних факторів на величину емісії двоокису карбону.

У результаті аналізу встановлено, що у ґрунтовому середовищі відбувається трансформація частки сумісного впливу кожної окремої складової на характер перебігу емісії CO<sub>2</sub>. Першочергово йдеться про абіотичні показники – температуру і вологість (див. табл. 3 та рис. 2).

Встановлено, що визначальну роль у формуванні емісійної активності ґрунтів (94,7% сумісного впливу) відіграють: їх гранулометричний склад (ГС), вміст вуглецю органічної речовини (Сорг), вологість ґрунту (ВГ), температура ґрунтової поверхні (ТП). Регресійне рівняння сумісного впливу означених чинників на інтенсивність емісії CO<sub>2</sub> має вигляд:

$$E_{CO_2} = 7,68 + 0,59ГС + 0,23Сорг + 0,14ВГ - 0,14ТП. \quad (1)$$

Загалом на 64% обсяги емісії CO<sub>2</sub> на досліджуваних ґрунтах залежали від ґрунтових характеристик, в тому числі приблизно на 2/3 від гранулометричного складу (дрібний пил, частки 0,005-0,001мм) та на 1/3 – від вмісту Сорг. Серед абіотичних показників провідна роль у формуванні потоків діоксиду вуглецю належить вологості ґрунту (20%) і лише 7% припадає на температуру земної поверхні. Таким чином, необхідно констатувати, що за результатами множинної кореляції порівняно з парною, значущість абіотичних показників у процесах продукування CO<sub>2</sub> є істотно нижчою.

Отже, слід зауважити, що роль власне ґрунтових властивостей у формуванні ґрунтового емісійного пулу CO<sub>2</sub>, є не повною мірою оціненою. Очевидно, що величини кількості опадів та температури повітря упродовж вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, які враховуються дослідниками у якості чинників емісії CO<sub>2</sub>, можуть бути використані, переважно для обрахунку парних коефіцієнтів кореляції.

**Висновки.** У результаті досліджень встановлено, що величина середньої інтенсивності емісії ґрунтів Полісся в умовах осушення під час вегетації сільськогосподарських культур диференціюється за типом ґрунту та характером ґрунтоутворення. Значення коефіцієнтів парної кореляції  $r$  між величиною середньої інтенсивності емісії досліджуваних ґрунтів та вмістом у них: дрібного пилу (частки 0,005-0,001, мм), вуглецю органічної речовини, лужногідролізуємого азоту, температури земної поверхні та вологості відповідно становлять 0,90, 0,92, 0,90, -0,93, 0,86. На 94,7% значення ECO<sub>2</sub> ґрунтів зумовлені сумісним впливом декількох чинників, в тому числі: вмістом дрібного пилу (43,7%), вмістом вуглецю органічної речовини (24,0%), вологістю (20,0%) та температурою земної поверхні (7,0%).

Цінність отриманих результатів полягає в такому: по-перше, основу потенційної родючості будь-якого ґрунту складають його гранулометричний склад та вміст органічної речовини, які диференціюються, залежно від типу ґрунтоутворення й залежать від комплексу чинників, в яких він еволюціонував. По-друге, величина запасів органічного вуглецю в ґрунтах вказує не лише на їх здатність до секвестрації органічної сировини, а також віддзеркалює відповідний рівень агрогенних навантажень і характер кліматичних умов, в яких вони функціонують. Якщо вміст Сорг опосередковано віддзеркалює рівень інтегрованості ґрунту до умов зовнішнього середовища, які передували моменту досліджень, то емісійна активність ґрунтів враховує ступінь впливу факторів зовнішнього середовища, що перебувають у стадії трансформування (наприклад унаслідок глобальних процесів зміни клімату) та які склалися на момент проведення досліджень.

Вважаємо, що дані про емісію CO<sub>2</sub> з ґрунтів під час вегетації сільськогосподарських культур необхідно розглядати у якості невід'ємних компонентів оцінки рівня їх родючості. А величини обсягів емісії CO<sub>2</sub> ґрунтами разом з їх здатністю до секвестрації органічного вуглецю в умовах кліматичних змін можуть складати критеріальну-базову основу сталого землекористування.

### Бібліографія

1. Ларионова А. А. Годовая эмиссия CO<sub>2</sub> из серых лесных почв южного Подмосковья. Почвоведение. 2001. (№ 1). С. 72–80.
2. Меліоровані агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України зони зрошення і осушення / за ред.: М. І. Ромащенко, Ю. О. Тараріко. – [НААН України, Інститут водних проблем і меліорації]. – Ніжин, 2017. С. 18.

3. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту: Патент на винахід 117911 Україна, МПК G01N 33/24 (2006.01) / П. І. Трофименко, Ф. І. Борисов; заявник і патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет. – № а 2014 12734; заявл. 25.10.2018; опубл. 25.10.2018 // Бюл. № 20.

4. Трофименко П. І., Борисов Ф. І., Трофименко Н. В. Інтенсивність дихання почв Левобережного Полесья України в умовах агроценоза // Почвоведение и агрохимия. 2015. (№ 2 (55)). С. 56–65.

5. Трофименко П. І., Борисов Ф. І. Наукове обґрунтування алгоритму застосування камерного статичного методу визначення інтенсивності емісії парникових газів із ґрунту. Агрохімія і ґрунтознавство // 2015. (№ 83). С. 17–24.

6. Freiziene, D., Kadziene G. The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO<sub>2</sub> emission in the 10th year of different tillage-fertilization management. – Zemdirbyste-Agriculture. – Vol. 95. (№ 4 (2008)). P. 29–45.

### References

1. Larionova, A.A., Rozanova, L.N., Dymkina, T.S., Evdokimov, I.V., & Blagodatsky, S.A. (2001). Godovaya emissiya CO<sub>2</sub> iz seryih lesnyih pochv yuzhnoy Podmoskovya [Annual emission of CO<sub>2</sub> from gray forest soils of the southern localities near Moscow]. Pochvovedenie, 1, 72–80. [in Ukrainian].

2. Romashchenko, M.S., Tararyko, Yu. O. (Ed.). (2017). Meliorovani agroekosy`stemy`. Ocinka ta racional`ne vy`kory`stannya agroresursnogo potencialu Ukrayiny` zony` zroshennya i osushennya [Reclaimed agro ecosystems. Assessment and rational use of the agrarian resource potential of the irrigation and drainage zone in Ukraine]. Nizhyn. [in Ukrainian].

3. Trofymenko, P.I., Borysov, F.I. (2006). Sposib vy`znachennya intensy`vnosti emisii gaziv z ґ`runtu [Method of determining the intensity of gases emitted from the soil]. Patent of Ukraine. № 117911. [in Ukrainian].

4. Trofymenko, P.I., Borysov, F.I., & Trofymenko, N.V. (2015). Intensivnost dyhaniya pochv Levoberezhnogo Polesya Ukrainyi v usloviyah agrotsenoza [Intensity of soil respiration of the Left-bank Polesye of Ukraine in conditions of agrocenosis] Pochvovedenie i agrochemistry. 2, 56–65. [in Russian].

5. Trofymenko, P.I., Borysov, F.I. (2015). Naukove obg`runtuvannya algory`tmu zastosuvannya kamernogo staty`chnogo metodu vy`znachennya intensy`vnosti emisii parny`kovy`x gaziv iz ґ`runtu. Agroximiya i ґ`runtovnavstvo [Scientific substantiation of the algorithm of the chamber static method for determining the intensity of greenhouse gas emissions from the soil]. Agroximiya i ґ`runtovnavstvo, 83, 17–24. [in Ukrainian].

6. Frasiene, D., Kadziene, G. (2008). The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO<sub>2</sub> emissions in the 10th year of different tillage-fertilization management. (Vol. 95, iss. 4). Zemdirbyste-Agriculture.

**П.І. Трофименко, Н.В. Трофименко**

### **Інтенсивність емісії СО<sub>2</sub> із почв Полесья во время вегетації культур і домінуючість обумовлюючих її факторів**

В роботі представлені результати досліджень інтенсивності емісії СО<sub>2</sub> із почв різного гранулометричного складу і ступеня гидроморфності Полесья України во время вегетації культур і домінуючість обумовлюючих її факторів. Установлено величини середньої за період спостережень величини емісії СО<sub>2</sub> із почв, кг/га/ч: торфянисто-болотна карбонатна осушена, 14,3 > черноземно-лугова карбонатна пылева-то-легкосуглиниста, 9,8 > светло-серая оподзоленна глеевата супесчаная, 8,9 > серая оподзоленна глеевата легкосуглиниста, 8,8 > темно-серая оподзоленна глеевата легкосуглиниста, 8,2 > дерново-среднеподзолистая глеевата супесчаная, 6,9 > дерново-среднеподзолистая глеевата легкосуглиниста почва, 6,3. Виявлено, що об'єми емісії СО<sub>2</sub> із почв залежать від типу ґрунту, її характеристик і комплексного впливу абиотических факторів. Коэффициенти парной кореляції (r) між значеннями середньої інтенсивності емісії в досліджуваних ґрунтах і величинами: мелкой пыли (частини 0,005-0,001, мм), углерода органического вещества, щелочногидролизуюмого азота, температуры земной поверхности и влажности соответственно составляют 0,90, 0,92, 0,90, -0,93, 0,86. Доказано, що значення ЕСО<sub>2</sub> в ґрунтах на 94,7% обумовлено спільним впливом

нием нескольких факторов, в том числе: содержанием мелкой пыли (43,7%), содержанием углерода органического вещества (24,0%), влажностью (20,0%) и температурой земной поверхности (7,0%).

**P.I. Trofymenko, N.V. Trofymenko**

**Intensity of CO<sub>2</sub> emissions from the soils of Polissya during the crop vegetation and dominance of its conditioning factors**

*The paper presents the results of studies on the intensity of CO<sub>2</sub> emissions from soils of different granulometric composition and degree of hydromorphy of Polissya of Ukraine during vegetation of crops and the dominance of its determinants. The average values for the period of observations of CO<sub>2</sub> emissions from soils, kg / ha / h were determined: peaty-marsh carbonate drained, 14.3 > chernozem-meadow carbonate sulfur-lime-sugary, 9.8 > light gray podzolic gleyic sandy, 8.9 > gray podzolized gleyic loamy, 8.8 > dark gray podzolized glutinous loamy, 8.2 > sod-medium podzolic gleyic sandy loam, 6.9 > sod-medium podzolic gleyic loamy, 6.3. It was revealed that the volumes of CO<sub>2</sub> emissions from soils depend on the type of soil, its characteristics and the complex influence of abiotic factors. The coefficients of the pair correlation (*r*) between the mean values of the emission intensity in the studied soils and the values: fine dust (particles 0.005-0.001, mm), carbon of organic matter, alkaline hydrolyzed nitrogen, temperature of the earth's surface and humidity, respectively, are 0.90, 0.92, 0.90, -0.93, 0.86. It has been proved that the value of ECO<sub>2</sub> in soils is 94.7% due to the joint effect of several factors, including: the content of fine dust (43.7%), carbon content of organic matter (24.0%), humidity (20.0%) and the temperature of the earth's surface (7.0%).*

DOI: 10.31073/mivg201801-113

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/113>

УДК 631.67:626.95

## ПАРАМЕТРИЧНА НАДІЙНІСТЬ МАТЕРИКОВОЇ ДІЛЯНКИ ПІВНІЧНО-КРИМСЬКОГО КАНАЛУ

І.Л. Гончарук

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: gonch.irch@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто особливості функціонування материкової частини Північно-Кримського каналу в умовах припинення подачі води в Крим, використовуючи водомірні властивості підпірних та випускних гідротехнічних споруд. Наведено результати розрахунків параметричної надійності розподілу води в каналі. Проблеми централізованого управління витратами води на гідротехнічних спорудах в умовах, які не передбачені проектом та шляхи їх вирішення.

**Ключові слова:** магістральний канал, відповідні витрати води, водорозподіл, водооблік, параметрична надійність

**Вступ.** Параметричну надійність зрошувального каналу запропоновано оцінювати коефіцієнтом кореляції відповідних витрат води на гідротехнічних спорудах [1]. Збільшення коефіцієнта свідчить про посилення параметричної надійності.

Експлуатація материкової ділянки Північно-Кримського каналу (далі ПМК) відбувається в умовах послаблення параметричної надійності, виникнення підпірних явищ, унаслідок чого гідротехнічні споруди втрачають водомірні властивості.

Отже розроблення методів, способів та рекомендацій щодо управління режимом роботи Північно-Кримського каналу на території Херсонської області та удосконаленням водообліку є актуальним науково-прикладним питанням.

**Мета роботи** полягає в оптимізації режиму роботи гідротехнічних споруд каналу в умовах, не передбачених проектом його експлуатації, шляхом синхронізації відповідних витрат води на цих спорудах.

**Теоретичні на експериментальні засади досліджень.** Експлуатація каналу здійснюється шляхом централізованого диспетчерського управління витратами води на гідротехнічних спорудах. Мета управління полягає у синхронізації методом руслового водного балансу гідрографів стоку води через усі споруди, забезпеченні усталеного руху води, розподілу її між споживачами «за потребою» чи «за планом», зарегулюванні в руслі каналу випадкових коливань витрат води, обумовлених технологічно виправданими чинниками, пов'язаними з часовою та просторовою

неузгодженістю гідрографів подачі та забору води по довжині каналу.

Критерієм оптимізації є параметрична надійність розподілу води в каналі [1].

Аналіз режиму роботи великих зрошувальних каналів самопливних зрошувальних систем України свідчить про те, що найбільш оптимальною тривалістю розрахункового періоду є одна доба [2]. Саме за добу здійснюється повний цикл збурень у водозаборі з каналів або водоподачі в них, а вплив хвиль переміщення на середньодобову витрату води в каналі є мінімальним.

Рівняння руслового водного балансу, яким можна описати розподіл води на ділянці каналу протягом однієї доби, матиме вигляд:

$$Q_i = (Q_{i+1} + \sum q) + I \pm \Delta Q \pm \Delta, \quad (1)$$

де  $Q_i$  – середньодобова витрата води через  $i$ -ту підпірно-регулюючу гідротехнічну споруду, м<sup>3</sup>/с, розташовану на початку обраної ділянки русла каналу;

$Q_{i+1}$  – середньодобова витрата води через споруду, розташовану у створі, що замикає цю ділянку, м<sup>3</sup>/с;

$\sum q$  – середньодобовий сумарний водозабір на ділянці каналу, м<sup>3</sup>/с;

$I$  – середньодобові втрати води на фільтрацію і випаровування, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta Q$  – середньодобова зміна витрати води по довжині каналу, яка обумовлена накопиченням або спрацьовуванням її об'єму в руслі каналу, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta$  характеризує абсолютну величину відхилення фактичної витрати води через підпірно-регулюючу гідротехнічну споруду від техно-

\* Робота виконана під науковим керівництвом д.т.н. Михайлова Ю.О.

© І.Л. Гончарук, 2018

логічно обґрунтованої витрати води, що задається на етапі планування (прогнозування) гідрографу стоку води через  $i$ -ту ПС (при  $\Delta \rightarrow 0$  якість розподілу води підвищується, величина її залежить також від похибки градування споруд).

Рівняння (1) можна розглядати як лінійну функцію виду  $Y = aX \pm b$ , де:  $Y = Q_i$ ;  $X = (Q_{i+1} + \sum q)$ ;  $b = (I + \Delta Q + \Delta)$ .

Втрати води у Північно-Кримському магістральному каналі змінюються протягом доби та по місяцях, але в середньому за добу їх можна вважати постійною величиною [3].

Інформаційною базою обраного методу досліджень є строкові рівні води, висота відкриття затворів та витрати води на гідротехнічних спорудах [4]. Їх містять журнали диспетчерської служби Управління Північно-Кримського каналу. Дані вносять у журнали кожні 4 години, починаючи з нуля годин.

**Режим роботи материкової частини каналу.** Материкова частина Північно-Кримського каналу простягається від гідротехнічної споруди в голові каналу до нещодавно збудованої споруди на 107,3 кілометрі каналу. Дотепер материкову частину каналу замикав створ на так званому балансовому посту на 96 кілометрі, на якому велись спостереження за обсягами водоподачі в АР Крим та вимірювання витрат води для градування цієї ділянки русла.

Під час подачі води в Крим розподіл її на ділянці Північно-Кримського магістрального каналу від головної споруди до першої перекачувальної насосної станції (НС-1) здійснювався диспетчерами за схемою верхнього б'єфа [5]. За такого управління всі надлишки води, що формувались на ділянці каналу протяжністю 208,1 кілометрів, самопливом надходили до аванкамери НС-1, а далі

використовувались на подачу води у низку каналів другого порядку та підкачувальним насосним станціям.

Рис. 1 свідчить про тісний кореляційний зв'язок ( $R^2$ ) між витратами води на спорудах ГС та ПС-1, а також ГС та ПС-2 у 2001 р. Таким чином, у минулому, принаймні на ділянці Північно-Кримського каналу від головної споруди до ПС-2 (Красноперекопськ), підтримувалась достатньо значуща параметрична надійність розподілу води.

Після припинення подачі води в АР Крим схема управління водорозподілом на материковій (77,8 км) ділянці каналу від головної споруди до першої підпірної споруди (ПС-1) залишилась без змін. Нижче за течією від ПС-1 до ПК-107 утворилась тупикова ділянка протяжністю 29,2 км. Забір води здійснюється переважно каналами РМ-1 та РМ-2.

На рис. 2 видно що, за таких умов параметрична надійність розподілу води на ділянці ПКК від головної споруди до ПК-107 суттєво послабшала, про що свідчать значення коефіцієнтів кореляції між рядами середньодобових витрат води на головній споруді та ПС-1.

Управління подачею води на ділянку каналу нижче ПС-1 доцільно ув'язати з режимом роботи головної споруди. До того ж, важливо, аби зміна рівня та витрат води на сьогодні «тупиковій» ділянці каналу була мінімальною і не перевищувала середньоквадратичної похибки визначення витрати води на ПС-1, а саме 4-6% від середньодобової витрати води, яка буде проходити через споруду.

**Режим роботи головної споруди каналу за різного попиту на воду.** Багаторічна експлуатація Північно-Кримського магістрального каналу, в тому числі останніми 2014-2017 роками, свідчить, що витрати води через головну споруду, а також споруди ПС-1,

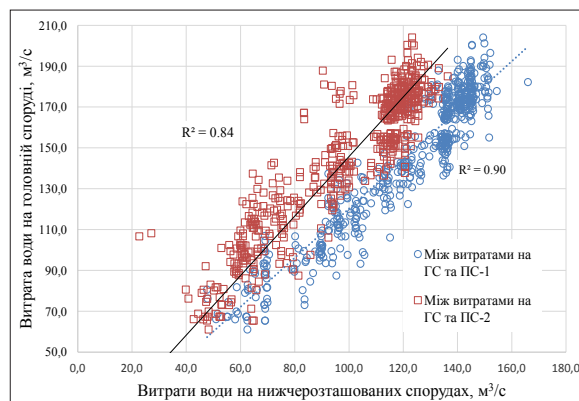


Рис. 1. Параметрична надійність розподілу води у ПКК у 2001 р.

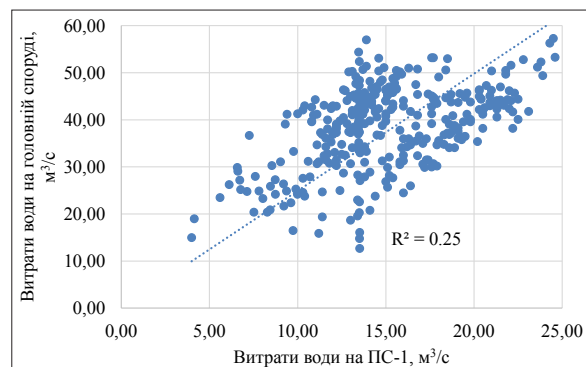


Рис. 2. Параметрична надійність розподілу води на материковій ділянці ПКК у 2015-2017 роках

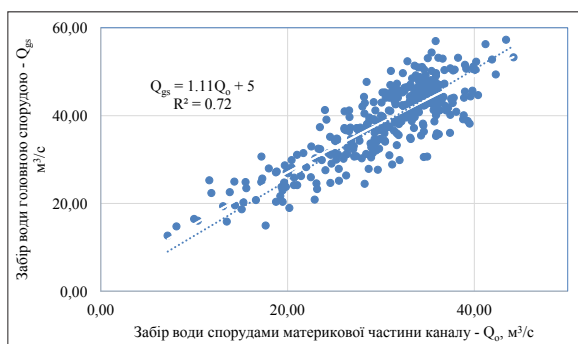


ПС-2 найбільш тісно корелюють з висотою відкриття затворів (коефіцієнт кореляції коливається від 0,73 до 0,98).

За умов параметрично надійного водорозподілу зміна витрат води на головній споруді Північно-Кримського магістрального каналу за певний час призводить до зміни режиму роботи всіх нижче розташованих за течією споруд, принаймні з самопливним водозабором, тому що змінюється рівень води в їхніх б'єфах, напір на водозливній частині затвору, а відтак і витратні характеристики споруд. Зазвичай, зростання рівня веде до зростання витрат і навпаки.

Це дає підстави скористатись показниками параметричної надійності для прогнозування необхідної водоподачі в голові ПКК за плановими чи вже відомими середньодобовими витратами води на головній споруді Краснознам'янського каналу (ПК61), підпірно-регульовальній споруді ПС-1 та головних спорудах каналів РМ-1 та РМ-2.

Більш детальний ретроспективний аналіз даних засвідчив тісну кореляцію середньодобових витрат води на головній споруді з сумою відповідних середньодобових витрат води на головних спорудах Краснознам'янського каналу, каналах РМ-1 та РМ-2 (рис. 3).



**Рис. 3. Залежність витрат води на головній споруді ПКК від сумарного забору води спорудами на 61 км, РМ-1 та РМ-2**

Стандартне відхилення розрахункових витрат води від табличних становить 9,7 м³/с, що може призвести до зміни рівня води в каналі на 12 см за добу, або лише на 3 см між черговим регулюванням споруд [6]. Часу достатньо, щоб уникнути переповнення русла каналу водою.

Таким чином, практичним результатом наведених підсумків досліджень є методика централізованого диспетчерського управління гідротехнічними спорудами, спрямована на синхронізацію їх гідрографів.

**Інженерні рішення на підтримку технологічних схем розподілення води на материковій частині каналу.** Докорінні зміни умов розподілу води обумовлюють спектр можливих інженерних рішень, спрямованих на оптимізацію експлуатаційного режиму роботи гідротехнічних споруд ПКК.

Гідротехнічні споруди доцільно оснащувати засобами прямого обліку води по аналогії з головною водозабірною спорудою Краснознам'янського каналу. Лише це дозволить організувати технологічний та комерційний облік води.

Необхідно також провести комплекс робіт з градування всіх гідротехнічних споруд з уточненням методики розрахунку руслового водного балансу ПКК.

**Висновки.** Результати оцінки параметричної надійності материкової ділянки ПКК свідчать, що найбільш доцільним є централізоване диспетчерське управління русловим водним балансом за короткі інтервали часу з врахуванням наявних кореляційних зв'язків між відповідними витратами води на гідротехнічних спорудах.

Материкову ділянку каналу рекомендується вважати суцільним б'єфом і регулювати режим його роботи, змінюючи витрати води на головній споруді. Витрати води на ПС-1 вважати фактором, обмежуючим надходження води на «тупикову» ділянку.

### Бібліографія

1. Михайлов Ю.О., Кошаровська І.Л., Попович А.В. Параметрична надійність водорозподілу у Північно-Кримському каналі. *Меліорація і водне господарство*. 2003; вип. 89. С. 66-71.
2. Коваленко П.І., Михайлов Ю.О. *Раціональне використання води при зрошенні*. Київ: Аграрна наука, 2000. 154 с.
3. *Рекомендации по определению потерь воды из крупных оросительных каналов*. Киев: Ротапринт УкрНИИГиМ, 1979. 19 с.
4. *Руководство по гидрологическим прогнозам*. Вып. 2. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. 246 с.
5. Михайлов Ю.О., Розгон В.А., Крученко В.Д. *Рекомендації. Метрологія. Витрата води у відкритих водотоках*. Зареєстровано ХДНДІМ, Харків: 2003.
6. Киенчук А.Ф. *Водораспределение на оросительных системах*. Киев: Урожай, 1989. 176 с.

### References

1. Mykhaylov, Yu. O., Kosharova, I. L., & Popovych, A. V. (2003) Parametrychna nadiynist' vodorozpodilu u Pivnichno-Kryms'komu kanali [Parametric reliability of water distribution in the North Crimean channel]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 89, 66-71. [in Ukrainian].
2. Kovalenko, P. I., & Mykhaylov, Yu. O. (2000). Ratsional'ne vykorystannya vody pry zroshenni [Rational use of water during irrigation]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
3. Rekomendatsyy po opredelenyuyupoter'vodyzkrupnykh orosytel'nykh kanalov. [Recommendations for determining the loss of water from large irrigation canals]. (1979). Kyev: Rotaprynt UkrNYUHyM. [in Ukrainian].
4. Rukovodstvo po hydrolohycheskym prohnozam. [Guide to Hydrological Forecasts]. (2nd ed.). (1989). Leningrad: Hydrometeoizdat. [in Russian].
5. Mykhaylov, Yu. O., Rozhon, V. A., & Kruchenyuk, V. D. (2003). Rekomendatsiyi. Metrolohiya. Vytrata vody u vidkrytykh vodotokakh. [Recommendations. Metrology. Water consumption in open water streams]. Kharkiv. [in Ukrainian].
6. Kyenchuk, A. F. (1989). Vodoraspredelenye na orosytel'nykh systemakh [Water distribution on irrigation systems]. Kyev: Urozhay. [in Russian].

**И.Л. Гончарук**

#### **Параметрическая надежность материкового участка Северо-Крымского канала**

*Рассмотрены особенности режима работы материковой части Северо-Крымского канала в условиях прекращения подачи воды в Крым используя водомерные свойства подпорно-регулирующих та водовыпускных гидротехнических сооружений. Приведены результаты расчетов параметрической надежности распределения воды в канале. Проблемы централизованного управления расходами воды на гидротехнических сооружениях в условиях, не предусмотренных проектом и пути их решения.*

**I.L. Goncharuk**

#### **Parametric reliability of the continental part of the North-Crimean canal**

*The features of the operating mode of the continental part of the North-Crimean canal under conditions of stopping the water supply to the Crimea using the water-measuring properties of the supporting-regulating and discharge waterworks are considered. The results of calculations of the parametric reliability of water distribution in the canal are given. Problems of centralized management of water flow in hydraulic structures under conditions not covered by the project and ways to solve them are considered as well.*

DOI: 10.31073/mivg201801-119

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/119>

УДК 631.11.1: 631.63

## ПОТЕНЦІАЛ БІОПРОДУКТИВНОСТІ ОСУШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ УКРАЇНИ

Ю.О. Тараріко<sup>1</sup>, док. с-г. наук, І.Т. Слюсар<sup>2</sup>, док. с-г. наук, Г.І. Личук<sup>3</sup>, канд. с-г. наук,  
О.М. Бердніков<sup>4</sup>, док. с-г. наук, А.О. Мельничук<sup>5</sup>, канд. с-г. наук, М.Г. Стецюк<sup>6</sup>,  
М.Д. Зосимчук<sup>7</sup>, канд. с-г. наук

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: urtar@bigmir.net

<sup>2,3</sup> ННЦ «Інститут землеробства НААН», смт. Чабани, Києво-Святошинський район, Київська область України; e-mail: solyanic@bigmir.net, aspirant.nnciz@ukr.net

<sup>4</sup> Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, м. Чернігів, Україна; e-mail:

<sup>5</sup> Інститут сільського господарства Полісся НААН, м. Житомир, Україна; e-mail: andriy\_melnychuk@ukr.net

<sup>6,7</sup> Сарненська дослідна станція ІВПіМ НААН, м. Сарни, Україна; e-mail: stetsiuk@sarny.com.ua, zosimchuk@mail.ru

***Анотація.** У статті узагальнено результати багаторічних досліджень, спрямованих на розробку технологій підвищення біопродуктивності осушуваних територій річкових заплав, лівобережного, правобережного та західного Полісся на органогенних і мінеральних ґрунтах, на орних землях і кормових угіддях. Встановлено, що за оптимізації водно-повітряного, поживного режиму ґрунту та складу культур у сівозмінах очікувана продуктивність орних земель становить 10-12 т к. од./га. У сприятливих умовах вирощування традиційні багаторічні трави і травосумішки забезпечують до 15 т к. од./га. На органогенних ґрунтах перевагу мають малопоширені нетрадиційні кормові і трав'янисті енергетичні культури з максимальною продуктивністю відповідно 27 та 29 т/га сухої речовини. З дерев'янистих енергетичних культур максимальний вихід сухої речовини дає верба прутівидна шведської селекції – 84 т/га сухої речовини. Проведені дослідження свідчать про доцільність відновлення ефективного використання осушуваних земель України.*

***Ключові слова:** біопродуктивність, осушувані території, водно-повітряний режим, орні землі, сільськогосподарські угіддя, польові, кормові, енергетичні культури, відновлення*

**Актуальність.** У процесі масштабних кліматичних перетворень стрімко змінюються умови сприятливості вирощування основних сільськогосподарських культур стосовно різних ґрунтово-кліматичних зон України [1, 2]. Так, якщо на півдні ефективне ведення землеробства практично стає неможливим без зрошення, то на півночі в гумідній зоні покращуються умови для вирощування теплолюбних культур, характерних для Лісостепу і Степу [3, 4].

З іншого боку, від 10% років в центральній частині Полісся до 20% у східній вже характеризуються недостатніми умовами зволоження, що потребує активного регулювання водного режиму ґрунту. На жаль із загальної площі осушуваних сільськогосподарських угідь 3,3 млн. га необхідний водно-повітряний режим ґрунтів нині забезпечується лише на площі близько 1,8 млн. га, а понад 500 тис. га не використовується взагалі, через незадовільний еколого-меліоративний стан територій, технічний стан осушувальної мережі та через вплив організаційно-господар-

ських чинників [5, 6]. Останні передбачають насамперед розвиток тваринництва [7, 8], його кормової бази [9-11], а також вирощування культур біоенергетичного напрямку на малопродуктивних землях [12].

**Мета роботи** – на основі узагальнення результатів багаторічних досліджень наукових установ НААН [13] в Лівобережному, Правобережному, Західному Поліссі, а також на інтразональних ґрунтах річкових заплав обґрунтувати необхідність відновлення ефективного використання меліорованих орних земель і природних кормових угідь гумідної зони на основі оцінювання їх потенційної біопродуктивності за оптимізації водно-повітряного, поживного режимів, сівозмінного та інших факторів.

**Методика.** У Лівобережному Поліссі (Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН) ґрунт стаціонарного дослідження дерново-середньопідзолистий супіщаний з такими показниками родючості: вміст гумусу 1,02%, сполук азоту, що легко гідролізуються,

(Nг) – 82, рухомих сполук фосфору – 200, обмінного калію – 140 мг/кг ґрунту, рН<sub>сол</sub> – 4,8, Нг – 2,5 мг-екв./100г ґрунту. Посівна площа ділянки 102 м<sup>2</sup>, облікова 60 м<sup>2</sup>, повторення 4-разове. Сівозміна: конюшина, пшениця озима, кукурудза на силос, ячмінь, люпин з/м, жито озиме, картопля, овес. Розглядалися 9 систем застосування добрив: 1 – контроль (без добрив), 2 – сидерація (Сд), 3 – N<sub>68</sub>P<sub>64</sub>K<sub>86</sub> (NPK), 4 – NPK+Сд, 5 – NPK+CaCO<sub>3</sub>, 6 – гній, 10 т/га (1Гн), 7 – 1Гн+NPK, 8 – 1Гн+NPK+Сд, 9 – гній, 20 т/га (2Гн).

На інтразональних органогенних ґрунтах у заплавах річок (ННЦ Інститут землеробства НААН) на різних фонах удобрення і обробітку ґрунту встановлювався потенціал біопродуктивності таких польових культур як жито озиме, тритикале озиме, тритикале яре, овес плівчастий, гречка, соя, кукурудза МВС і на зерно.

Крім того у 3-х дослідях вивчали: 1 – вплив способів поліпшення природних кормових угідь та мінеральних добрив на продуктивність багаторічних трав, 2 – потенціал продуктивності трав'янистих однорічних і багаторічних малопоширених кормових та енергетичних культур, 3 – доцільність вирощування верби тритичинкової та верби прутівидної на енергетичні цілі.

У Правобережному Поліссі (Інститут сільського господарства Полісся НААН) дослідження проводили у стаціонарному досліді, розміщеному на дерново-середньопідзолистому супіщаному ґрунті з умістом гумусу – 0,86-0,94%, загального азоту – 0,05%, рухомих сполук фосфору – 23-24 мг/кг ґрунту та калію – 14-23 мг/кг ґрунту, рН<sub>сол</sub> – 4,5, Нг – 2,4 мг екв. на 100 г ґрунту. Посівна площа ділянки 102 м<sup>2</sup>, облікова – 60 м<sup>2</sup>, повторення 4-разове, розміщення – рендомізоване. Всього у досліді вивчається 25 варіантів систем удобрення. Для оцінки агресурсного потенціалу території були обрані і аналізувалися 6 найбільш характерних для регіональної виробничої практики варіантів: 1 – контроль (без добрив), 2 – N<sub>22</sub>P<sub>16</sub>K<sub>26</sub> (NPK), 3 – гній, 4,4 т/га (Гн), 4 – 0,5Гн+0,5NPK, 5 – Гн+NPK, 6 – Гн+4NPK, 7 – 1,5Гн+NPK, 8 – 2Гн+NPK. Сівозміна: картопля – овес – конюшина – пшениця озима – льон – кукурудза – люпин – жито озиме – гречка.

У 4-х тимчасових дослідях вивчали: 1 – вплив покривних культур і способів обробітку ґрунту на продуктивність сумішки конюшини і тимофіївки; 2 – ефективність мінеральних добрив і прийомів обробітку ґрунту при вирощуванні конюшини; 3 – технології прискоро-

реного освоєння перезволожених земель з використанням бобово-злакових сумішок; 4 – вплив різних рівнів ґрунтових вод на продуктивність 5 різних сумішок багаторічних трав: 1 – конюшина + тимофіївка, 2 – тимофіївка + пирій сизий + стоколос, 3 – лядвенець + тимофіївка, 4 – лядвенець + пирій сизий, 5 – лядвенець + стоколос.

У Західному Поліссі (Сарненська дослідна станція Інституту водних проблем і меліорації НААН) забезпеченість торфового ґрунту легкогідролізованим азотом – середня, рухомих фосфором дуже висока, обмінним калієм – низька. Кількість повторень – 2, площа посівної ділянки – 360 м<sup>2</sup>. Схема стаціонарного агротехнічного досліді: 1 – Контроль (без добрив), 2 – P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>, 3 – N<sub>45</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>. Сівозміна: 1 – тимофіївка, 2 – жито озиме, 3 – картопля, 4 – ячмінь, 5 – овес, 6 – кукурудза на силос.

Також проводили 3 тимчасових досліді: 1 – оцінка потенціалу біопродуктивності 7-ми багаторічних кормових культур та 4-х їх сумішок стосовно режимів скошування і систем удобрення; 2 – ефективність вирощування 15-ти традиційних і малопоширених багаторічних культур та 12-ти однорічних кормових культур; 3 – оцінка ефективності вирощування однорічних і багаторічних енергетичних культур.

У перерахованих дослідях природний фон родючості і біопродуктивності встановлюється на варіантах без добрив за показниками середньої по роках врожайності культур. Максимальний рівень продуктивності посівів на цьому фоні в найсприятливіші за історію ведення дослідів роки відображає значення оптимізації водно-повітряного режиму ґрунту. Середня за роки досліджень врожайність за застосування добрив показує роль оптимізації поживного режиму ґрунтового покриву. Максимальна продуктивність культур на удобрених фонах імітує одночасне поліпшення умов забезпечення вологою і живлення рослин.

Для порівняльної оцінки продуктивності культур використовували показник кормової цінності – кормова одиниця (к.од.) [14].

**Результати досліджень.** На інтразональних торфово-глейових ґрунтах з товщиною торфу до 50-60 см слід проводити оструктурування підстилаючою мінеральною породою шляхом плантажної оранки з пріорюванням 8-10 см мінерального ґрунту. Багаторічні травосуміші на цих землях забезпечують за повного мінерального добрива і близьких до оптимальних умовах зво-

ження до 15 т/га сухої маси, врожайність жита озимого до 6 т/га, а гречки – до 3,6 т/га.

Ефективним способом підвищення продуктивності старосіяних луків є докорінне та поверхневе їх поліпшення із застосуванням мінеральних добрив та триразовим збиранням урожаю – до 10 т/га сухої речовини. На карбонатних ґрунтах на фоні мінеральних добрив і оранки зернові колосові у середньому забезпечують урожайність 6 т/га, соя і соняшник – 3,5, ріпак озимий – 2,5 т/га, кукурудза – до 11 т/га. За нульового обробітку із застосуванням гербіцидів врожайність культур істотно знижується.

Найбільш продуктивними однорічними культурами на енергетичні цілі є кукурудза – 19 т/га та сорго силосне – 14 т/га сухої маси. Серед багаторічних малопоширених кормових культур найпродуктивнішими у середньому за п'ять років виявилися топінамбур – 27 т/га, сільфія пронизаноліста – 24 т/га та сіда – 23 т/га сухої маси (рис. 1). З енергетичних культур міскантус дає 29 т/га, верба тритичинкова формує на третій рік до 50 т/га сухої маси (рис. 2).

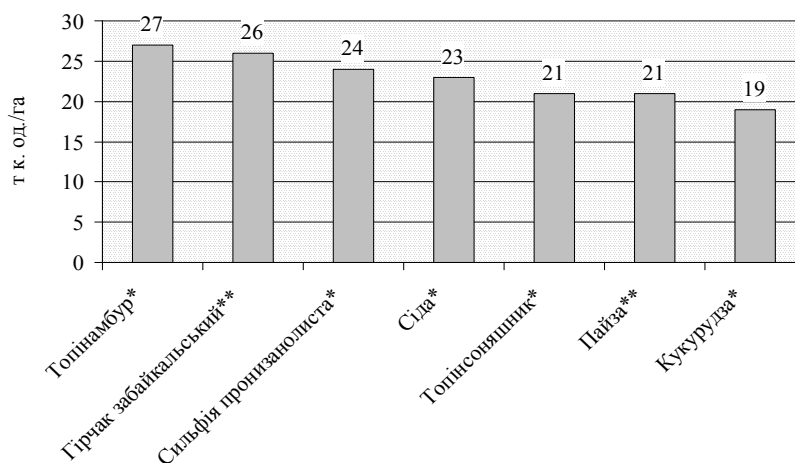
Отже, в умовах заплавл річок за рослинницької спеціалізації аграрного виробництва максимальна продуктивність сівозміни: 1, 2 – кукурудза на зерно, 3 – соя, гречка на фоні мінеральної системи удобрення буде сягати рівня 9 т к. од./га. За тваринницької спеціалізації у сівозміні, що забезпечує близький до оптимального раціон годівлі молочної ВРХ: 1, 2 – кукурудза на зерно, 3 – соя, 4 – кукурудза на силос, багаторічні трави, сільфія пронизаноліста, продуктивність

ріллі в оптимальних умовах зволоження і живлення становитиме 10 т к. од./га (рис. 3). За біоенергетичної спеціалізації виробничої діяльності найбільш доцільним може бути вирощування верби тритичинкової з різницею в строках посадки в 1 рік – 40 т/га сухої речовини (рис. 2).

У Лівобережному Поліссі потенціал виробництва зерна пшениці озимої за оптимізації поживного і водно-повітряного режимів дерново-підзолистого ґрунту становить на рівні 8 т/га, зерна озимого жита, ячменю і вівса на рівні 6 т/га, зеленої маси кукурудзи на рівні 90 т/га, зеленої маси конюшини, люпину і бульб картоплі на рівні 50 т/га. Причём найефективнішою виявилася органо-мінеральна система удобрення із сумісним внесенням мінеральних добрив і 10 т/га гною на фоні систематичної сидерації. За сприятливих умов зволоження вона забезпечує продуктивність зональної 8-пільної сівозміни на рівні 7 т к. од./га.

До того ж близькі до оптимальних умови вирощування є найбільш сприятливими для кукурудзи – майже 19 т к. од./га. На фоні тривалого застосування органо-мінеральної системи удобрення картопля забезпечує майже 14 т к. од./га, зелена маса люпину і конюшини – на рівні 9 т к. од./га.

Отже, стосовно умов Лівобережного Полісся для добре окультурених дерново-підзолистих ґрунтів в близьких до оптимальних умовах зволоження і живлення можна рекомендувати 4-пільну сівозміну: 1 – озимі і ярі зернові, 2 – конюшина, люпин, 3 – кукурудза МВС або на зерно та 4 – картопля з очікуваною



**Рис. 1. Потенційна продуктивність малопоширених кормових культур на органогенних ґрунтах: \* інтразональні землі заплавл, \*\* Західне Полісся**

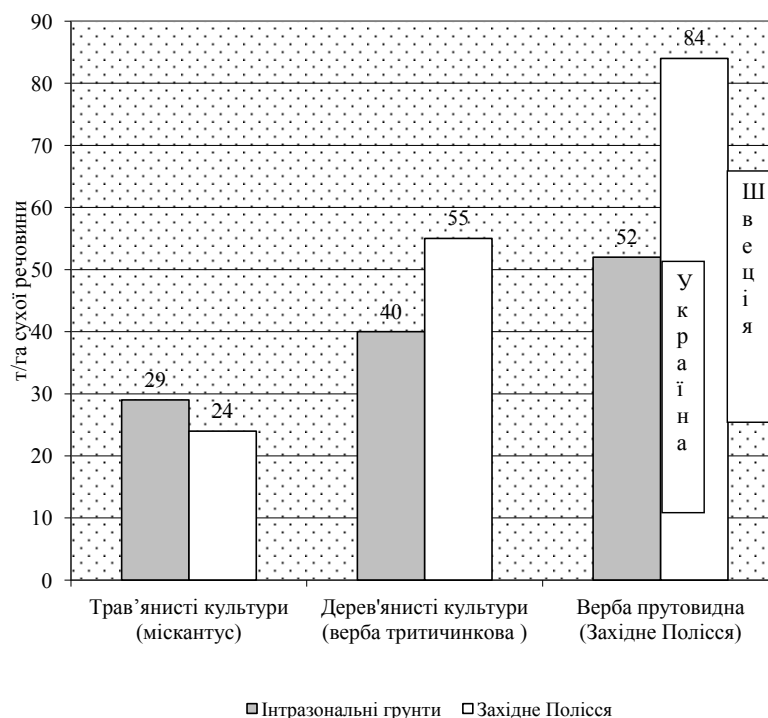


Рис. 2 Потенційна продуктивність енергетичних культур

продуктивністю 12 т к. од./га. Така сівозмінна, що передбачає виробництво грубих і соковитих кормів, придатна для впровадження за наявності розвинутої тваринницької галузі. За відсутності тваринництва при суто рослинницькій спеціалізації можна рекомендувати 3-пільну сівозмінну з отриманням тільки товарної продукції рослинництва: 1 – озимі і ярі зернові, 2 – картопля, 3 – кукурудза на зерно також продуктивністю рівня 12 т к. од./га. Можливий варіант використання 2-пільної сівозміни: 1 – кукурудза на зерно, 2 – картопля продуктивністю на рівні 13 т к. од./га. У разі розвитку біоенергетичного напрямку можна впроваджувати монокультуру кукурудзи на зелену масу з продуктивністю 19 т к. од./га сухої речовини.

У Правобережному Поліссі дослідження на осушеному гончарним дренажем дерново-середньопідзолистому супіщаному ґрунті по вивченню впливу п'яти покривних культур і літнього безпокривного посіву на врожайність сумішки конюшини лучної і тимофіївки лучної (16 і 6 кг/га), зібраної у фазу бутонізації, показали, що вихід сухої речовини був найвищим після пшениці озимої, ячменю і віко-вівса на зелений корм і становив майже 12 т/га сухої речовини.

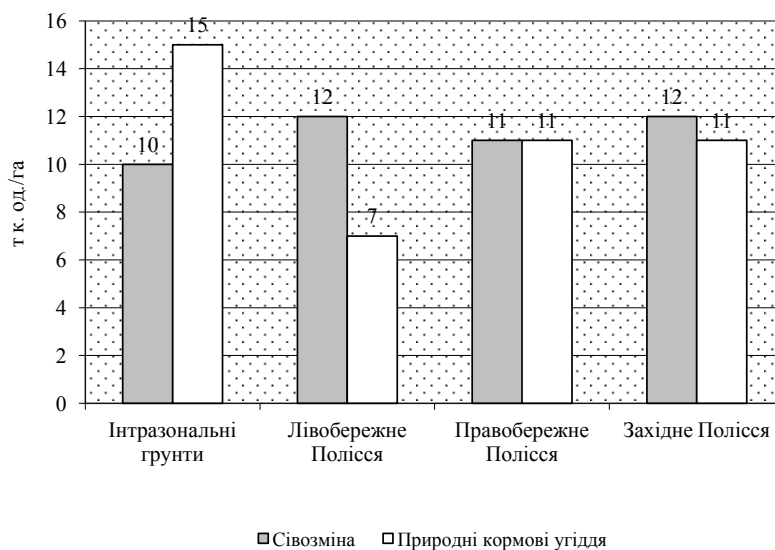
Також на осушуваному дерново-середньопідзолистому супіщаному ґрунті з регулюванням рівня ґрунтових вод подачею води по

дренах із водосховища вивчали різні способи обробітку ґрунту в поєднанні з різними дозами мінеральних добрив. Встановлено, що потенціал продуктивності конюшини на фоні одночасного поліпшення водно-повітряного і поживного режимів ґрунту становить за два укуси 62 т/га зеленої маси або 11 т/га сухої речовини.

З досліджуваних технологій прискореного освоєння перезволожених земель під високопродуктивні кормові угіддя встановлено, що найбільш ефективним способом обробітку дерново-підзолистого глейового супіщаного ґрунту є розробка дернини «до чорна» шляхом фрезерування. За цим способом продуктивність травосумішки на фоні  $N_{240}P_{90}K_{120}$  сягає 10 т/га сухої речовини.

Дослідження впливу рівня ґрунтових вод на продуктивність кормових угідь показало, що усі досліджувані сумішки багаторічних трав найвищу продуктивність формували на фоні РГВ 65 см. Найвища врожайність відзначалася при вирощуванні злакової сумішки (тимофіївка+стokolос безостий+пирій сизий) – 9 т/га сухої речовини. Лядвенець із стokolосом забезпечує вихід до 8 т/га сухої речовини.

Отже, потенціал продуктивності кормових угідь регіону за сприятливих режимів зволоження і живлення залежно від особливостей умов вирощування знаходиться у межах 8-11 т/га сухої речовини або кормових



**Рис. 3. Потенційна продуктивність ріллі і кормових угідь (традиційні трави і травосумішки) на осушуваних землях, т к. од./га**

одиниць, що еквівалентно аналогічній масі зерна вівса або 6-8 т зерна пшениці.

На орних меліорованих землях Правобережного Полісся всі досліджувані у сівозміні зернові культури (озимі пшениця і жито та овес) стосовно ґрунтово-кліматичних особливостей регіону, умов зволоження і живлення мають приблизно рівний максимальний потенціал продуктивності – 5 т/га зерна.

У сприятливі роки врожайність кукурудзи МВС по фоні органо-мінеральної системи удобрення сягає 53 т/га зеленої маси, або 10 т/га сухої речовини або за дозрівання 6 т/га зерна, люпину – 58 т/га зеленої маси, або 11 т/га сухої речовини або за дозрівання 6 т/га зерна, конюшини – 79 т/га зеленої маси або до 16 т/га сухої речовини.

Максимальний рівень урожайності гречки і льону також досягнуто за сумісного застосування подвійної дози гною і мінеральних добрив, відповідно – 1,6 т/га зерна і 1,2 т/га волокна. Це специфічні культури і тому при оцінюванні потенціалу біопродуктивності орних земель регіону їх не враховували.

Отже, очікуваний рівень продуктивності сівозміни: 1 – зернові колосові, 2 – кукурудза МВС, 3 – люпин, 4 – конюшина буде на рівні 11 т/га сухої речовини. За біоенергетичної спрямованості аграрного виробництва продуктивність сівозміни: 1 – кукурудза на силос, 2 – конюшина може досягти 13 т/га сухої речовини.

У Західному Поліссі потенціал урожайності багаторічних кормових культур та їх сумішок

оцінювався стосовно режимів скошування і систем удобрення. Встановлено, що на фоні мінеральних добрив  $N_{60}P_{60}K_{120}$  в найбільш сприятливому році максимальною продуктивністю відрізнялися посіви стоколоса безостого – 64 т/га зеленої маси або 12 т к. од./га. З точки зору продуктивності тимофіївка лучна та бекманія звичайна істотно переважали інші досліджувані культури – 49 т/га зеленої маси або 9 т к. од./га. За використання травосумішок: 1 – стоколос безостий+тимофіївка лучна+пажитниця багаторічна+лядвенець рогатий та 2 – стоколос безостий+тимофіївка лучна+пажитниця багаторічна+лядвенець болотний вихід зеленої маси сягав 56 т/га або 10 т к. од./га, що свідчить про переважаючу роль стоколосу безостого у формуванні продуктивності травостою. При цьому травосумішка козлятник східний 50% + стоколос безостий 50% забезпечує біля 9 т к. од./га.

На мінеральних і органогенних ґрунтах також проводили тимчасові дослідження рівня врожайності малопоширених багаторічних і однорічних кормових культур. Встановлено, що стосовно інших багаторічних кормових культур максимальний врожай зеленої маси і на органогенних і на мінеральних ґрунтах забезпечував гірчак забайкальський – відповідно 131 і 71 т/га зеленої маси або майже 23,5 і 13 т к. од./га. Дану культуру на корм або при приготуванні грубих і соковитих кормів доцільно використовувати у суміші з іншими більш цінними травами. Із цього погляду, на торфових ґрунтах

найбільш перспективним є козлятник східний – 80 т/га зеленої маси або майже 15 т к. од./га, на мінеральних – лядвенець рогатий з максимальною продуктивністю 64 т/га зеленої маси або 12 т к. од./га.

На торфовому ґрунті серед досліджуваних однорічних культур значно переважала редька олійна з продуктивністю 91 т/га зеленої маси або майже 17 т к. од./га та пайза 74 т/га зеленої маси або 13 т к. од./га, на дерново-підзолистому – пайза з продуктивністю 80 т/га зеленої маси або майже 15 т к. од./га та редька олійна – 57 т/га зеленої маси або 10 т к. од./га.

Отже, на органогенних ґрунтах кормова сівозміна: 1 – гірчак забайкальський, 2 – козлятник східний, 3 – редька олійна, 4 – пайза дасть змогу отримувати 17 т к. од./га, на дерново-підзолистих ґрунтах сівозміна: 1 – гірчак забайкальський, 2 – лядвенець рогатий, 3 – редька олійна, 4 – пайза дасть змогу отримувати на рівні 12 т к. од./га, або у 1,4 рази нижче до торф'яників.

У польовій сівозміні на торфовому ґрунті максимальна врожайність тимофіївки лучної за мінеральної системи удобрення становить 57 т/га зеленої маси або на рівні 10 т к. од./га, зерна жита озимого – 42 ц/га або 4,6 т к. од./га, зерна ячменю і вівса – 3,7 т/га, бульб картоплі – 36 т/га або 11 т к. од./га, кукурудзи МВС – 52 т/га або 14 т к. од./га з продуктивністю сівозміни 7 т к. од./га. Отримані результати свідчать, що в даних умовах зернові колосові мають набагато нижчий потенціал продуктивності порівняно з кормовими культурами і концентровані корми очевидно доцільно закупати в інших регіонах, а звільнені площі відводити під кормові. Так, у сівозміні: 1 – кукурудза МВС, 2 – тимофіївка буде забезпечуватися продуктивність на рівні 12 т к. од./га.

З однорічних трав'янистих енергетичних культур виділяється сорго цукрове – 22 т/га сухої речовини, з багаторічних трав'янистих міскантус – 24 т/га сухої речовини, деревна

верба тритичинкова забезпечує на 3-й рік 55 т/га, верба прутувидна вітчизняної селекції – 52 т/га, шведської селекції – 84 т/га сухої речовини (рис. 2).

**Висновки.** Потенціал продуктивності деяких нетрадиційних кормових культур на органогенних ґрунтах значно переважає традиційні багаторічні і однорічні трави, їх сумішки, а також кукурудзу, люпин та інші. Так, за близьких до оптимальних умов живлення і зволоження традиційна кукурудза максимально забезпечує 19 т к. од./га, то топінамбур і гірчак забайкальський – 26-27 т к. од./га, що дає змогу при однакових затратах збільшити вихід кормової біомаси в 1,4 рази. При цьому на мінеральних ґрунтах рівень продуктивності вказаних малопоширених культур близький до традиційних.

З енегетичних трав'янистих культур найвищою біопродуктивністю характеризується міскантус гігантський – до 30 т/га сухої речовини, з дерев'янистих різні види верби на рівні 80 т/га.

На орних меліорованих землях за різногалузевої структури аграрного виробництва при оптимізації основних факторів росту і розвитку рослин впровадження сівозміни з найбільш адаптованих до умов і ґрунтів окремих регіонів досягається продуктивність ріллі на рівні 10-12 т к. од./га з виходом перетравного протеїну 0,9-1,2 т/га.

Вихід біомаси з кормових угідь за використання традиційних трав і травосумішок коливається від 7 т/га сухої маси конюшини на дерново-підзолистих ґрунтах Лівобережного Полісся до 15 т/га сухої маси багаторічних травосумішок на торфово-глейових ґрунтах річкових заплав.

Все це свідчить про високий потенціал біопродуктивності осушуваних земель і доцільність повного відновлення роботи меліоративних систем за умови розвитку різногалузевої інфраструктури аграрного виробництва.

### Бібліографія

1. Районування території України за рівнем забезпеченості гідротермічними ресурсами в умовах глобальних кліматичних змін / Ромащенко М.І. та ін. // Збірка наукових праць, присвячена Міжнародному року ґрунтів та Міжнародному дню ґрунту, який відзначають щорічно 5 грудня «ґрунти та меліорація: минуле і майбутнє». Київ, 2015. С. 11-16.
2. Ромащенко М.І., Тараріко Ю.О. Меліоровані агроєкосистеми. Ніжин: Видавництво ПП Лисенко М.М. 2017. 696 с.
3. Коваленко П.І. Інтегроване управління водними і земельними ресурсами на меліорованих територіях: монографія. Київ: Аграрна наука, 2016. 784 с.
4. Наукові засади розвитку аграрного сектора економіки південного регіону України / За наук. ред: Ромащенко М.І., Вожегової Р.А., Шатковського А.П. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 438 с.



5. Ромащенко М.І., Тараріко Ю.О., Коваленко П.І. Концепція ефективного використання осушуваних земель гумідної зони України (наукові засади). Київ: ЦП «Компринт», 2015. 22 с.
6. Слюсар І.Т. Концепція ефективного сільськогосподарського використання земель гумідної зони України. Київ: «Едельвейс». 2014. 54 с.
7. Рижук С.М., Слюсар І.Т. Агроекологічні основи ефективного використання осушуваних ґрунтів Полісся і Лісостепу України. Київ: Аграрна наука, 2006. 424 с.
8. Природоохоронне та ефективне використання осушуваних органогенних ґрунтів гумідної зони (методичні рекомендації) / Слюсар І.Т. та ін. Київ, 2014. 79 с.
9. Медведев Г.А. Мало распространенные кормовые культуры. Москва: Колос, 1970. 160 с.
10. Вавилов П. П., Кондратьев А. А. Новые кормовые культуры. Москва: Рос-сельхозиздат, 1975. 351 с.
11. Тараріко Ю.О., Стецюк М.Г., Зосимчук М.Д. Потенціал продуктивності багаторічних трав в одно видових та змішаних посівах на осушуваних торфових ґрунтах Західного Полісся // Вісник аграрної науки, 2018. № 2 С. 24-30.
12. Роїк М.В., Ганженко О.М., Тимошук В.Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні // Біоенергетика. 2015. №1. С. 5-8.
13. Заришняк А.С., Бальок С.А., Лісовий М.В. Стаціонарні польові дослідження України. Київ: Аграрна наука. 2014. 146 с.
14. Довідник поживності кормів / М.М. Карпуть, та ін.; За ред. М.М. Карпуся. Київ: Урожай, 1988. 400 с.

#### References

1. Romashchenko, M.I. et al. (2015). Rayonuvannya terytoriyi Ukrayiny za rivnem zabezpechenosti hidrotermichnykh resursamy v umovakh hlobal'nykh klimatichnykh zmin. [The zoning of the territory of Ukraine on the level of availability of hydrothermal resources in the conditions of global climate change] Zbirka naukovykh prats', prysvyachena Mizhnarodnomu roku gruntiv ta Mizhnarodnomu dnyu gruntu, yakyy vidznachayut' shchorichno 5 hrudnya «Grundy ta melioratsiya: mynule i maybutnye». Kyiv. [in Ukrainian].
2. Romashchenko, M.I., Tarariko, Yu.O. (2017). Meliorovani ahroekosystemy. [Melioration of agroecosystems] Nizhyn: Vydavnytstvo PP Lysenko M.M. [in Ukrainian].
3. Kovalenko, P.I. (2016) Intehrovane upravlinnya vodnymi i zemel'nymi resursamy na meliorovanykh terytoriyakh [Integrated management of water and land resources in the reclaimed territory] monohrafiya. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
4. Romashchenko, M.I., Vozhehova, R.A., Shatkovs'kyi, A.P. et al. (2017). Naukovi zasady rozvytku ahrarnoho sektora ekonomiky pivdennoho rehionu Ukrayiny [Scientific principles of development of the agrarian sector of the economy of the southern region of Ukraine]. Kherson: OLDI-PLYUS. [in Ukrainian].
5. Romashchenko, M.I., Tarariko, Yu.O., Kovalenko, P.I. (2015). Kontsepsiya efektyvnoho vykorystannya osushuvanykh zemel' humidnoyi zony Ukrayiny (naukovi zasady) [The concept of the effective using of drained lands of the humid zone of Ukraine (scientific basis)]. Kyiv: TSP «Komprynt». [in Ukrainian].
6. Slyusar, I.T. (2014). Kontsepsiya efektyvnoho sil's'kohospodars'koho vykorystannya zemel' humidnoyi zony Ukrayiny [Concept of effective agricultural use of land in the humid zone of Ukraine]. Kyiv: «Edel'veys». [in Ukrainian].
7. Ryzhuk, S.M., Slyusar, I.T. (2006). Ahroekologichni osnovy efektyvnoho vykorystannya osushuvanykh gruntiv Polissya i Lisostepu Ukrayiny [Agroecological bases of effective use of drained soils of Polissya and Forest-steppe of Ukraine]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
8. Slyusar, I.T. et al. (2014). Pryrodokhoronne ta efektyvne vykorystannya osushuvanykh orhanohennykh gruntiv humidnoyi zony (metodychni rekomendatsiyi) [Environmental and effective use of drained organogenic soils of the humid zone (methodical recommendations)]. Kyiv. [in Ukrainian].
9. Medvedev G.A. (1970). Malorasprostranennyye kormovyye kul'tury. [Low-spread fodder crops]. Moskva: Kolos. [in Russian].
10. Vavilov, P.P., Kondrat'yev, A.A. (1975). Novyye kormovyye kul'tury [New fodder crops]. Moskva: Ros-sel'khozizdat. [in Russian].
11. Tarariko, Yu.O., Stetsyuk, M.H., Zosymchuk, M.D. (2018). Potentsial produktyvnosti bahatorichnykh trav v odno vydovykh ta zmishanykh posivakh na osushuvanykh torfovykh gruntakh

Zakhidnoho Polissya [Potential of productivity of perennial grasses in one species and mixed crops on drained peat soils of Western Polissya]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, 2, 24-30. [in Ukrainian].

12. Royik, M.V., Hanzhenko, O.M., Tymoshchuk, V.L. (2015). *Kontseptsiya vyrobnytstva i vykorystannya tverdykh vydiv biopalyva v Ukrayini* [Concept of production and use of solid biofuels in Ukraine]. *Bioenerhetyka*, 1, 5-8. [in Ukrainian].

13. Zaryshnyak, A.S., Balyuk, S.A., Lisovyy, M.V. (2014). *Statsionarni pol'ovi doslidy Ukrayiny*. [Stationary field experiments of Ukraine]. Kyiv: *Ahrarna nauka*.

14. Karpus' M.M. et al. (1988). *Dovidnyk pozhyvnosti kormiv* [Handbook of nutrition of feeds]. M.M.Karpus' (Ed.). Kyiv: *Urozhay*. [in Ukrainian].

**Ю.О. Тарарико, И.Т. Слюсар, Г.И. Лычук, А.М. Бердников,  
А.О. Мельничук, Н.Г. Стецюк, Н.Д. Зосимчук**

#### **Потенциал биопродуктивности осушаемых земель Украины**

*В статье обобщены результаты многолетних исследований направленных на разработку технологий повышения биопродуктивности осушаемых территорий речных пойм, Левобережного, Правобережного и Западного Полесья на органогенных и минеральных почвах, на пахотных землях и кормоугодьях. Установлено, что в результате оптимизации водно-воздушного режима почвы и состава культур в севооборотах уровень ожидаемой продуктивности пахотных земель составляет 10-12 т к. ед./га. В благоприятных условиях выращивания традиционные многолетние травы и травосмеси обеспечивают до 15 т к. ед./га. На органогенных почвах преимущественно имеют мало распространенные кормовые и травянистые энергетические культуры с максимальной продуктивностью соответственно 27 и 29 т/га сухого вещества. Из древесных энергетических культур максимальный выход сухого вещества обеспечивает ива прутовидная шведской селекции – 84 т/га сухого вещества. Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности возобновления эффективного использования осушаемых земель Украины.*

**Yu.O. Tarariko, I.T. Slyusar, G.I. Lychuk, A.M. Berdnikov,  
A.O. Melnychuk, N.G. Steciuk, N.D. Zosymchuk**

#### **Potential of bioproductivity of drained lands of Ukraine**

*In article results of long-term researches of the technologies of increase in bioproductivity of the drained territories of river creeks, Left-bank, Right-bank and Western Polesia directed to development on organogenic and mineral soils, on arable lands and feeds lands.*

*In article results of long-term researches of the technologies of increase in bioproductivity of the drained territories of river creeks, Left-bank, Right-bank and Western Polesia directed to development on organogenic and mineral soils, on arable lands and feeds lands. It is set that for optimizations water-air, nourishing mode of soil and to composition cultures in crop rotations the expected productivity of arable earths makes 10-12 t k. odes./acr. In the favourable terms of growing traditional long-term herbages and travosumishki provide to 15 t k. odes./acr. On organogennikh soils in current use untraditional green and grassy power not crops take advantage with a burst performance according to 27 and 29 t k. odes./acr of dry matter. From woody powercultures about expedience of proceeding in the effective use of the drained soils on the Ukraine.*

DOI: 10.31073/mivg201801-112

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/112>

УДК 504.453

## РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗМІН ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ЗАХІДНИЙ БУГ

**І.В. Гопчак, канд. геогр. наук**

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна;

e-mail: gopchak\_igor@ukr.net

***Анотація.** Проведено порівняльну характеристику зміни інтегральних показників якості води р. Західний Буг протягом 50-річного періоду за критеріями мінералізації, трофо-сапробіологічними показниками та показниками вмісту специфічних речовин токсичної дії; досліджено зміну якості води за даними характеристиками протягом останніх десятиріч; виконано узагальнюючі спостереження і висновки. Встановлено, що аналіз змін екологічного стану охарактеризував води Західного Бугу: у віддаленій ретроспективі – категорія 4, води „задовільні”, „слабко забруднені”; у середній ретроспективі – категорія 5, води „посередні”, „помірно забруднені”; у близькій ретроспективі – категорія 4, води „задовільні”, „слабко забруднені”.*

***Ключові слова:** річка, поверхневі води, річковий басейн, екологічна оцінка, якість води, класифікація.*

**Постановка питання.** На сьогодні надзвичайно актуальним є питання оцінювання якості поверхневих вод. Необхідним є своєчасне проведення спостережень за якісним станом поверхневих вод басейнів річок та виконання аналізу з узагальненням інформації про стан водних об'єктів, прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття відповідних управлінських рішень у галузі використання, охорони та відтворення водних ресурсів. Отримання такої інформації сприятиме: проведенню аналізу процесів, які відбуваються в басейні і створенню можливості прийняття державних рішень у справі використання поверхневих вод та їх належної охорони; прогнозуванню якісних і кількісних змін водних ресурсів у річковому басейні; проведенню оцінки впливу вмісту у поверхневих водах особливо шкідливих речовин; виявленню та оцінці природних та антропогенних факторів, що впливають на якість вод; накопиченню даних, які дозволять визначити стратегію охорони вод і покращення їх стану [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінюванню якості води з різних позицій присвячено низку наукових досліджень. Аналіз наукових публікацій з екологічної оцінки якості води річок засвідчує про його проведення за басейновим та адміністративно-територіальним принципом. Вагомий внесок у методологію комплексної інтегральної оцінки екологічного стану басейнів річок зробили А.В. Яцик [2, 3], Й.В. Гриб [4].

Оцінка якості річкових вод та основні шляхи покращення екологічного стану малих річок басейну р. Західний Буг висвітлено у наукових працях [5, 6].

**Мета досліджень** – проаналізувати загальні тенденції змін якості води річки Західний Буг у ретроспективний період.

**Методика досліджень.** Екологічне оцінювання якості поверхневих вод р. Західний Буг виконано за даними систематичних спостережень на основі екологічної класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв України, яка включає набір гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних та інших показників, що відображають особливості складових водних екосистем. Вихідні дані відповідно до «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» були згруповані в три блоки показників: сольового складу води ( $I_1$ ); трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) блоку ( $I_2$ ); специфічних речовин токсичної дії ( $I_3$ ) [3].

**Результати досліджень.** Для з'ясування загальних тенденцій змін якості води в річці Західний Буг протягом 50-річного періоду були обчислені підсумкові ретроспективні значення інтегральних екологічних показників за трьома блоками в період з 1964 до 2013 року. Підсумковими інтегральні значення показників якості води трьох блоків вважаємо тому, що вони фактично є часткою від поділу суми всіх сум величин категорій якості води на суму всіх сум кількості показників якості води кожного блоку.

© І.В. Гопчак, 2018

Таким чином, підсумкові інтегральні показники якості води можуть характеризувати з екологічних позицій якості води окремої річки в узагальненому виразі. При обчисленні значень інтегральних показників якості води, як стосовно окремих пунктів спостережень, так і стосовно певної річки в цілому, в першу чергу отримуємо округлені кількісні значення найбільш точних інтегральних показників: індексів сольового складу, трофо-сапробності та специфічних речовин токсичної дії. Вже на їх основі отримуємо кількісні значення субкатегорій, категорій і класів якості води і словесну характеристику екологічної якості води: клас і категорія якості за мінералізацією (прісні, гіпо-олігогалинні), клас, група, тип за критеріями іонного складу, рівень трофності, зона сапробності за трофо-сапробіологічними критеріями [7].

Етап ретроспективної оцінки якості річкових вод за відповідними категоріями для окремих показників полягає у виконанні таких дій:

- найгірші, але допустимі, значення кожного показника якості води порівнюють з відповідними показниками якості води, наведеними в системі екологічних класифікацій якості поверхневих вод суші та естуаріїв України [3]. Таке зіставлення виконували щодо всіх наявних показників якості води на

постійних пунктах спостережень в усі розрахункові періоди досліджень (1964, 1973, 1984, 1995, 2001, 2004, 2008, 2013 рр.). Подібний підхід дозволив визначити найгірші значення показників якості річкових вод басейнів Західного Бугу у віддаленій (1964, 1973), середній (1984, 1995) та близькій (2001-2013) ретроспективі і порівняти їх між собою;

- на основі проведеного зіставлення визначалися категорії якості води щодо кожного показника за найгіршими їх значеннями. Великою перевагою „Методики...” [3] є те, що вона дозволяє абсолютні кількісні значення показників якості води (критерії), оцінювані за гідрофізичними, гідрохімічними, гідробіологічними та бактеріологічними показниками, переводити в кількісні, але відносні та уніфіковані інтегральні показники якості води (класи, категорії, субкатегорії, індекси). У подальшому саме в межах цих категорій якості води встановлювали абсолютні величини значень екологічної оцінки стосовно кожного показника якості води.

Підсумкові результати розрахунків найгірших значень показників якості води і об'єднана екологічна оцінка якості води р. Західний Буг за блоковими індексами сольового складу, трофо-сапробіологічних і специфічних показників за розрахункові періоди досліджень представлені в таблиці.

**Ретроспективна екологічна оцінка якості води річки Західний Буг за найгіршими значеннями показників блокових індексів ( $I_1, I_2, I_3$ ) та величиною інтегрального екологічного індексу ( $I_E$ )**

№ з/п	Роки	Значення індексів							
		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_E$	стан чистоти		ступінь чистоти	
						за класом	за катег.	за класом	за катег.
1	1964	2,0	4,1	4	3,4	добрі	добрі	чисті	досить чисті
2	1973	2,7	4,6	4,6	4,0	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
3	1984	3,7	6,0	5,2	5,0	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені
4	1995	2,7	5,4	5,3	4,5	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
5	2001	2,3	5,2	5,3	4,3	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
6	2004	2,3	5,4	4,0	3,9	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
7	2008	2,0	5,4	5,0	4,1	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
8	2013	2,7	4,8	5,0	4,2	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені

Сольовий режим басейну Західного Бугу тісно пов'язаний з місцевими фізико-географічними умовами і їх особливостями. Тому межі гідрохімічних змін в них достатньо добре співпадають з межами фізико-географічних зон, загальна мінералізація та вміст головних іонів зростають у напрямку з півночі на південь – від зони Полісся до Лісостепової зони.

Сольовий склад води Західного Бугу формується в умовах підвищеної вологості і визначається впливом карбонатних і гіпсових порід, які залягають в основі їх водозборів. Тому вода Західного Бугу за природними умовами відповідає, згідно класифікації О.О. Альокіна [8], гідрокарбонатному класу, групі кальцію, II-III типу,  $С_{II-III}^a$ . За 50-річний період досліджень найгірші значення мінералізації не перевищували – 800 мг/дм<sup>3</sup> [9].

Джерелами надходження важких металів в поверхневі води є мінеральні речовини гірських порід, потрапляння їх з атмосфери, стічні води, фізико-хімічний стан поверхневих вод. Нафтопродукти і СПАР, які зустрічаються в поверхневих водах, це типові представники господарської діяльності на водозборах річок. Задля об'єктивної оцінки динаміки змін інтегральних показників якості води за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії і виявлення джерел їх надходження в поверхневі води річкового басейну необхідні детальні

гідрохімічні та токсикологічні дослідження на обраних ділянках річки з урахуванням природних умов і особливостей господарської діяльності на водозборі. На жаль, ми мали в розпорядженні дуже незначну кількість інформації про наявність у річковій воді специфічних речовин токсичної дії, особливо це стосується двох перших розрахункових періодів. У 1964 р. ми мали можливість оцінювати якість річкової води Західного Бугу тільки за вмістом заліза загального, а в 1973 р. ще за поодинокими даними вмісту міді, цинку, хрому загального, марганцю, фенолів, СПАР і нафтопродуктів. У 1984 і 1995 рр. додатково з'являється незначна кількість інформації про вміст свинцю і нікелю. Тобто динаміку змін якості води за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії можна простежити тільки по залізу загальному, сполуки якого містяться в усіх ґрунтах і породах басейну [7, 10, 11].

Проаналізувавши динаміку змін інтегральних показників якості поверхневих вод р. Західний Буг у межах України протягом 1964-2013 рр. (Рис. 1) варто відмітити, що якість води за найгіршими величинами відповідає:

- сольовий блок, в основному, 2-3 категорія, II клас, „добрі”, „чисті” води. Найбруднішими в цьому відношенні є поверхневі води в 1984 р., які належать до 4 категорії, III класу якості (верхня ділянка, від с. Сасів до м. Кам'янка-Бузька) і оцінюються як „задо-

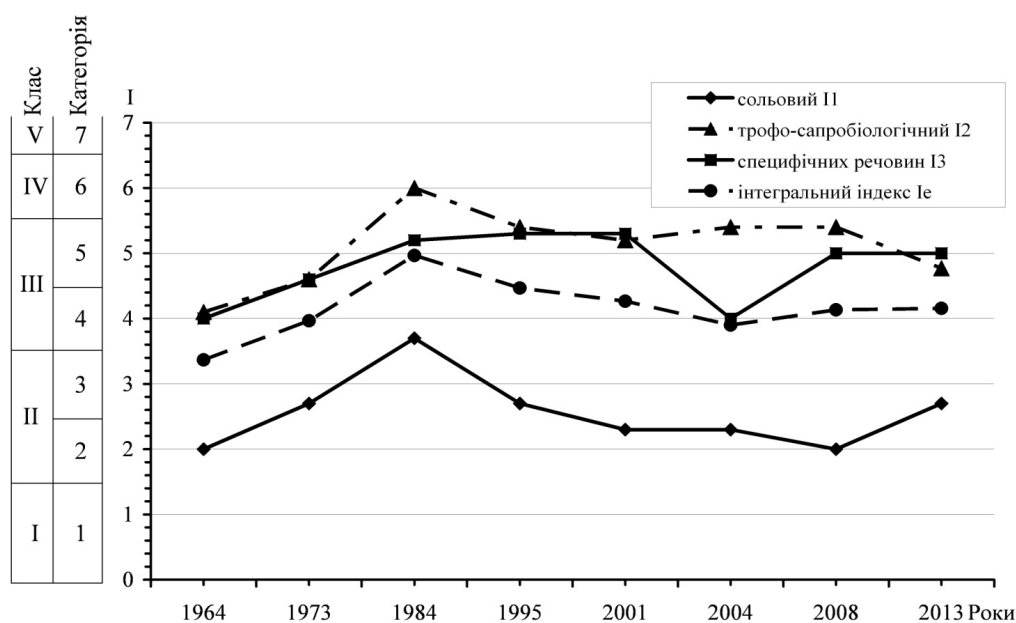


Рис. 1. Динаміка змін величин інтегральних показників якості води р. Західний Буг за найгіршими значеннями критеріїв I1, I2, I3 та Ie впродовж 1964-2013 років

вільні”, „слабко забруднені” води. Основною причиною такого явища є високі концентрації хлоридів і сульфатів відмічені у воді на верхній (с. Сасів – м. Кам’янка-Бузька), середній (м. Червоноград – м. Устилуг) і нижній (с. Ягодин – с. Грабове) ділянках річки за зазначений період. На всьому протязі від с. Сасів (поблизу витоку) до с. Грабове (на кордоні з Білоруссю) вода р. Західний Буг є гідрокарбонатно-кальцієвою, II-III типу [8];

- трофо-сапробіологічні показники протягом розрахункового періоду – 4-5 категорія, III клас „задовільні”, „забруднені”, а в 1984 р. – 6 категорія, IV класу якості „погані”, „брудні”. Такий високий рівень трофності Західного Бугу можна пояснити лише одним: великим вмістом речовин, які є чинниками високої потенційної біологічної продуктивності річок, проте водночас й фактором низької якості вод. Проведений аналіз показав, що за вмістом нітритного і нітратного азоту та фосфатів води Західного Бугу та його приток належали, як правило, до категорій 6 і 7 („дуже брудні”, „дуже погані”);

- специфічні речовини токсичної дії – 4-5 категорія, III клас „задовільні”, „забруднені” води. Навіть у далекій ретроспективі якість поверхневих вод, у межах Волинського Полісся, за величиною  $I_3$  розрахована тільки по вмісту заліза загального, оцінюється 4-5 категоріями, III класом якості, оскільки значні концентрації заліза загального в річках області обумовлені специфічними особливостями природних умов формування якісного складу річкових вод Волині.

Отже, якість води річки протягом 50-річного періоду спостережень, оцінювана з екологічних позицій за підсумковими значеннями інтегральних показників якості води трьох блоків, знаходилася в діапазоні від 2 до 6 категорії, від „дуже добрих”, „чистих” до „поганих”, „брудних” вод. У той же час підсумкові екологічні індекси ( $I_E$ ) для найгірших їх значень варіюють у межах 3,4-5,0 і оцінюються від „добрих”, „досить чистих” до „посередніх”, „помірно забруднених” вод, тобто в межах II і III класів якості.

За досліджуваній період якість води за найгіршим вмістом специфічних речовин токсичної дії в руслі Західного Бугу погіршилася на I категорію.

Аналіз зміни підсумкових значень інтегральних показників якості води блоків сольового складу, трофо-сапробіологічних і специфічних речовин токсичної дії, за їх найгіршими значеннями, в період від 1964 до 2013 рр. в р. Західний Буг показав таке:

- найкращі значення підсумкових інтегральних показників якості води сольового блоку були зафіксовані в 1964 і 2008 рр. і відповідали категорії 2, II клас ( $I_1 = 2,0$ ). В 1973, 1995 і 2013 рр. якість води вже належала за блоком II до категорії 3 ( $I_1 = 2,7$ ), а в 1984 т р. – 4 категорія ( $I_1 = 3,7$ ), II і III класам. Простежується поступове (з 1964 до 1984 рр.) погіршення якості води, приблизно на 2 категорії, а в 1995 р. ступінь забруднення мінеральними речовинами знижується майже на 1 категорію (в 1984 р.  $I_1=3,7$ , в 1995 р.  $I_1=2,7$ );

- дещо інша картина відбувалася з блоком трофо-сапробіологічних показників, від першого до третього розрахункових рівнів відмічається погіршення якості води (особливо за найгіршими величинами, 1964 р.  $I_2 = 4,1$ ; в 1973р.  $I_2 = 4,6$ ; в 1984 р.  $I_2 = 6,0$ ). У 1995 р. порівняно з 1984 р., зафіксовано покращення якості річкових вод на 1 категорію;

- порівняльна характеристика відносно блоку специфічних речовин токсичної дії показала, що в 1964 і 1973 рр. води за величиною  $I_3$  знаходились у межах 4 категорії якості ( $I_3 = 4,0-4,6$ ), а в 1984 і 1995 рр. відбулося погіршення якості води до 5 категорії ( $I_3 = 5,2-5,3$ ), при цьому якість води залишається у межах III-го класу якості.

Протягом досліджуваного періоду величини коливалися в діапазоні:

- блок сольового складу ( $I_1$ ) – 2-4 категорій;
- трофо-сапробіологічний блок ( $I_2$ ) – 4-6 категорій;
- блок специфічних показників ( $I_3$ ) – 4-5 категорій.

Динаміка змін підсумкових величин інтегральних показників якості поверхневих вод р. Західний Буг, за їх найгіршими значеннями, протягом 50-річного періоду досліджень свідчить про: прогресуюче їх забруднення мінеральними речовинами (приблизно на 2 категорії з 1964 до 1984 р.); значне збільшення забруднення за трофо-сапробіологічними компонентами (на 2 категорії з 1964 до 1984 р.); неухильне збільшення забруднення поверхневих вод токсичними речовинами (більш як на 1 категорію з 1964 по 1995 р.). У наступні періоди досліджень процес погіршення якості річкової води змінюється на тенденцію покращення.

**Висновки.** Проведений аналіз змін підсумкових значень інтегральних екологічних індексів трьох блоків показників ( $I_1, I_2, I_3$ ), а також сумарного екологічного індексу ( $I_E$ ), у період з 1964 по 2013 рр. (таблиця) дає формальні підстави охарактеризувати екологічний стан і тенденції змін якості води в річці Західний Буг так:

- на всіх ділянках річки води „добрі”, „досить чисті”, II клас якості зафіксовано лише в 1964 році ( $I_E = 3,4$ );

- у 1973 р. води верхньої, середньої і нижньої ділянок річки за середніми і найгіршими величинами  $I_E$  класифікуються як „задовільні”, „слабко забруднені”, III клас якості ( $I_E = 4,0$ );

- у 1984 р. річкові води трьох ділянок характеризувалися за найгіршими величинами  $I_E$  як „посередні”, „помірно забруднені” ( $I_E = 5,0$ );

- у 1995-2013 роках води Західного Бугу за найгіршими значеннями цих індексів були за станом „задовільні”, „слабко забруднені” ( $I_E = 3,9-4,5$ ).

Відмічені тенденції зміни якості річкових вод у басейні Західного Бугу протягом багато-

річного періоду спостережень відбуваються в результаті взаємодії природних і антропогенних чинників на екологічний стан поверхневих вод. До того ж в тих місцях, де спостерігався значний вплив антропогенних чинників, якість води була, як правило, гіршою, а тропність і сапробність вищою.

Виконане екологічне оцінювання якості поверхневих вод р. Західний Буг може бути використане для визначення основних напрямків природоохоронної діяльності щодо оздоровлення екологічної обстановки водних об'єктів у межах басейну або його ділянки, оцінки ефективності проведених водоохоронних заходів і встановлення екологічних нормативів якості води.

### Бібліографія

1. Екологічна оцінка якості поверхневих вод української частини басейну річки Західний Буг / Гопчак І.В та ін. // Вода: проблеми и решения: материалы X науч.-практ. конф., г. Днепропетровск, – Дніпропетровськ: «Гамалія», 2012. 272 с.
2. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суши та естуаріїв України / В.Д. Романенко та ін. – Київ: ЗАТ «ВІПОЛ», 2001. 48 с.
3. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко та ін. – Київ: Символ-Т, 1998. 28с.
4. Гриб Й. В., Клименко М. О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем(гідрохімія, гідрологія, управління): навч. посіб. Т. 1. Рівне: РДТУ, 1999. 348 с.
5. Забокрицька М. Р. Оцінка сучасного стану якості річкових вод басейну р. Західний Буг (у межах Волинської області). Регіональні екологічні проблеми: збірник наукових праць. Київ: ВГЛ «Обрії», 2002. С. 143–145.
6. Клименко Н. А., Вознюк Н. Н., Лихо Е. А. Особенности формирования качества поверхностных вод р. Западный Буг. Материалы VII Международной конференции. Варшава, 2005. С. 193–200.
7. Встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод Волинської області. Заключний звіт УНДІВЕП / Яцьк А.В. та ін. – Київ, 2003. С.109-151.
8. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград: Гидрометиздат, 1970. 444 с.
9. Гопчак І.В. Аналіз динаміки змін якості води головних річок Волинської області. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне, 2005. Вип. 4(32). С. 71-78.
10. Яцьк А.В., Гопчак І.В. Экологическая оценка качества бассейнов Западного Буга и Припяти (в пределах Волынской области). Современное состояние, проблемы и перспективы использования трансграничных водных объектов: Материалы Международного Водного Форума. Минск: Бэлээнс, 2006. С. 52.
11. Яцьк А.В., Чернявская А.П., Гопчак І.В. Экологическая оценка поверхностных вод Украины (на примере Волынской области). Вода: экология и технология: Седьмой Международный конгресс (ЭКВАТЕК-2006). Москва: СИБИКО Интернэшнл, 2006. Ч. 1. С. 147-148.

### References

1. Gopchak, I.V., Basiuk, T.O., Bondar, A.E., & Hrysiuk, T.O. (2012). Ekologichna otsinka yakosti poverkhnevyykh vod ukrainiskoi chastyny baseinu richky Zakhidnyi Buh [Environmental assessment surface water quality of the Ukrainian part river basin Western Bug]. Voda: problemy u resheniya: materyaly X nauch.-prakt. konf. Dnepropetrovsk.: Hamaliya, 56-60. [in Ukrainian].
2. Romanenko, V.D., Jukinskyi, V.M., Oksiyuk, O.P., Yatsyk, A.V., Chernyavska, A.P., & Vasenko, O.G. et al. (2001). Metodyka vstanovlennia i vykorystannia ekolohichnykh normatyviv yakosti poverkhnevyykh vod sushi ta estuariiv Ukrainy [Methodology for the establishment and use of ecological norms of quality of surface waters of land and estuaries of Ukraine]. Kyiv: VIPOЛ. [in Ukrainian].
3. Romanenko, V.D., Jukinskyi, V.M., Oksiyuk, O.P., Yatsyk, A.V., Chernyavska, A.P., & Vasenko, O.G. et al. (1998) Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymy

katehoriiamy [Methodology of ecological assessment of surface water quality according to the relevant categories]. Kyiv: Symvol-T. [in Ukrainian].

4. Hryb, Y. V., Klymenko, M. O., & Sondak, V. V. (1999). Vidnovna hidroekolohiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system (hidrokhemii, hidrolohiia, upravlinnia) [Restorative hydroecology of disturbed river and lake systems (hydrochemistry, hydrology, management)]. (Vol. 1-3; Vol.1). Rivne: Rivnen. derzh. tekhn. un-t. [in Ukrainian].

5. Zabokrytska, M. R. (2002). Otsinka suchasnoho stanu yakosti richkovykh vod baseinu r. Zakhidnyi Buh (u mezhakh Volynskoi oblasti) [Assessment of the current status of river basin quality in the western basin (within the Volyn region)]. Kyiv: Obrii, 143–145. [in Ukrainian].

6. Klymenko, N. A., Vozniuk, N. N., Lykho, E. A. Osobennosti formirovaniia kachestva poverkhnostnykh vod r. Zapadnyi Buh [Features of the formation of the quality of surface water of the Western Bug River]. Materialy VII Mezhdunar. konf. Varshava, 193–200. [in Ukrainian].

7. UNDIVEP. (2003). Vstanovlennia i vykorystannia ekolohichnykh normatyviv yakosti poverkhnemykh vod Volynskoi oblasti [Establishment and use of environmental quality standards for surface waters in the Volyn region].: Zvit pro NDR (zaklyuchnyy, 2003 r.). № DR 0102U005904. Kyiv. [in Ukrainian].

8. Alekin, O.A. (1970). Osnovy hydrokhemii [Basics of hydrochemistry]. Leningrad: Hidrometizdat. [in Ukrainian].

9. Hupchak I.V. (2005). Analiz dynamiky zmin yakosti vody holovnykh richok Volynskoi oblasti [Analysis of the dynamics of water quality changes in the main rivers of the Volyn region]. Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. 4(32), 71-78. [in Ukrainian].

10. Yatsyk, A.V., & Gopchak, I.V. (2006). Ekolohycheskaya otsenka kachestva basseinov Zapadnoho Buha y Prypiati (v predelakh Volynskoi oblasti) [Environmental quality assessment of the Western Bug and Pripjat basins (within the Volyn region)]. Materyaly Mezhdunarodnoho Vodnoho Foruma «Sovremennoe sostoianye, problemy y perspektivy yspolzovaniia transhranychnykh vodnykh obektov». Mynsk: Belsens, 52. [in Russian].

11. Yatsyk, A.V., Cherniavskaia, A.P., Gopchak, I.V. (2006). Ekolohycheskaia otsenka poverkhnostnykh vod Ukrainy (na prymere Volynskoi oblasti) [Environmental assessment of surface waters of Ukraine (on the example of the Volyn region)]. Sedmoi Mezhdunarodnyi konhress «Voda: ekolohiia y tekhnolohiia» (EKVATEK-2006). Moskva: SIBIKO Interneshnl, 147-148. [in Russian].

**И.В. Гопчак**

#### **Ретроспективный анализ динамики изменений качества поверхностных вод реки Западный Буг**

Проведена сравнительная характеристика изменения интегральных показателей качества воды р. Западный Буг в течение 50-летнего периода по критериям минерализации, трофо-сапробиологическим показателями и показателями содержания специфических веществ токсического действия; исследовано изменение качества воды по данным характеристикам в течение последних десятилетий; выполнены обобщающие наблюдения и выводы. Установлено, что анализ изменений экологического состояния охарактеризовал воды Западного Буга: в отдаленной ретроспективе – категория 4, воды "удовлетворительные", "слабо загрязненные"; в средней ретроспективе – категория 5, воды "посредственные", "умеренно загрязненные"; в близкой ретроспективе – категория 4, воды "удовлетворительные", "слабо загрязненные".

**I.V. Gopchak**

#### **Retrospective analysis of the dynamics of changes in the surface water quality in the Western Bug River**

The comparative characteristic of the change integral indicators of water quality in the Western Bug River during the 50-year period is carried out according to the criteria of mineralization, trophic-saprobological indices and indicators of the content of specific substances of toxic action; the water quality change has been investigated according to these characteristics during the last decades; generalized observations and conclusions were made. It was established that the analysis of changes in the ecological status was characterized by the waters of the Western Bug: in the remote retrospective – category 4, the water is "satisfactory", "poorly polluted"; in the middle retrospective – category 5, water "mediocre", "moderately polluted"; in the near retrospect – category 4, water "satisfactory", "poorly polluted".



DOI: 10.31073/mivg201801-111

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/111>

УДК 532.5:519.86:556.182:556.3:631.621

## РОЗРАХУНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ КАР'ЄРУ "ХОТИСЛАВСЬКИЙ" НА ГІДРОДИНАМІКУ ГРУНТОВИХ І ПІДЗЕМНИХ ВОД ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ

**О.О. Дятел<sup>1</sup>, С.В. Телима<sup>2</sup>, канд. техн. наук**<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: alexandr\_dyatel@ukr.net<sup>2</sup> Інститут гідромеханіки НАНУ, Київ, Україна; e-mail: office@hydromech.com.ua

***Анотація.** Розглянуто питання впливу розробки кар'єру «Хотиславський» на гідродинаміку ґрунтових і підземних вод Волинського Полісся. Використано аналітичні методи розрахунку процесів геофільтрації та методи математичного моделювання. Проаналізовано обґрунтованість прогнозних розрахунків та моделювання впливу кар'єру на територію України, виконаних попередніми дослідниками та співставлення даних.*

***Ключові слова:** область фільтрації, інфільтраційне живлення, водопритік, водопровідність, гідрогеологічні умови, пересушення, техногенні умови*

**Постановка питання.** Розробка кар'єру «Хотиславський» на території Республіки Білорусь упродовж багатьох років є предметом дискусій щодо його можливого впливу на прилеглу територію України.

Актуальність досліджень підтверджена численними науковими висновками відомих фахівців щодо можливого негативного впливу розробки кар'єру на територію Волинського Полісся, включаючи територію Шацького національного парку.

Враховуючи вищезазначене, нами було поставлено завдання кількісної оцінки транскордонного впливу на територію України розробки даного родовища на довгостроковий період його експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі досліджень були проаналізовані гідрогеологічні умови території Волинського Полісся, визначені умови формування водних ресурсів зони активного водообміну, гідрологічні умови, стан поверхневих водотоків, включаючи меліоративні об'єкти, та сучасний водно-екологічний стан визначеної території.

Крім того, на основі аналізу гідродинамічних умов основних водоносних горизонтів розроблені фільтраційні схеми взаємозв'язку ґрунтових і підземних вод на даній території, що дозволило створити концептуальну модель водообміну поверхневих і підземних вод.

При створенні моделі були використані та проаналізовані результати моделювання оцінки впливу на оточуюче середовище розробки родовища «Хотиславське», які представлені у відповідному Звіті білоруської сторони [13] та монографіях [2, 14]. Показано,

що результати впливу слід вважати наближеними у зв'язку з недостатньою достовірністю геофільтраційних даних, які використовувались білоруськими фахівцями.

**Метою досліджень** є оцінювання впливу розробки родовища піску і крейди «Хотиславське» (Республіка Білорусь) на гідрогеологічні та гідроекологічні умови території України в межах Волинського Полісся, включаючи територію Шацького національного парку.

У роботі використано аналітичні методи розрахунку процесів геофільтрації та методи математичного моделювання. Крім того проведений аналіз обґрунтованості прогнозних розрахунків та моделювання впливу кар'єру на територію України, виконаних білоруською стороною, та співставлення даних.

**Результати досліджень.** Територія досліджень характеризується складними гідрогеологічними умовами і недостатньо вивчена, особливо це стосується північно-західної частини, де розташована Копаївська осушувальна система [14, 2].

Відсутність достовірних даних по окремих ділянках території визначає наближений характер розрахунків та прогнозування впливу експлуатації кар'єру на гідродинаміку ґрунтових і підземних вод Волинського Полісся в межах його можливого впливу (рис. 1), що відмічено і у Звіті білоруської сторони [13].

Водопритік до кар'єру формується за рахунок природних ресурсів основних водоносних горизонтів та атмосферних опадів і при гідродинамічній схематизації його можна розглядати як радіальний потік до свердло-

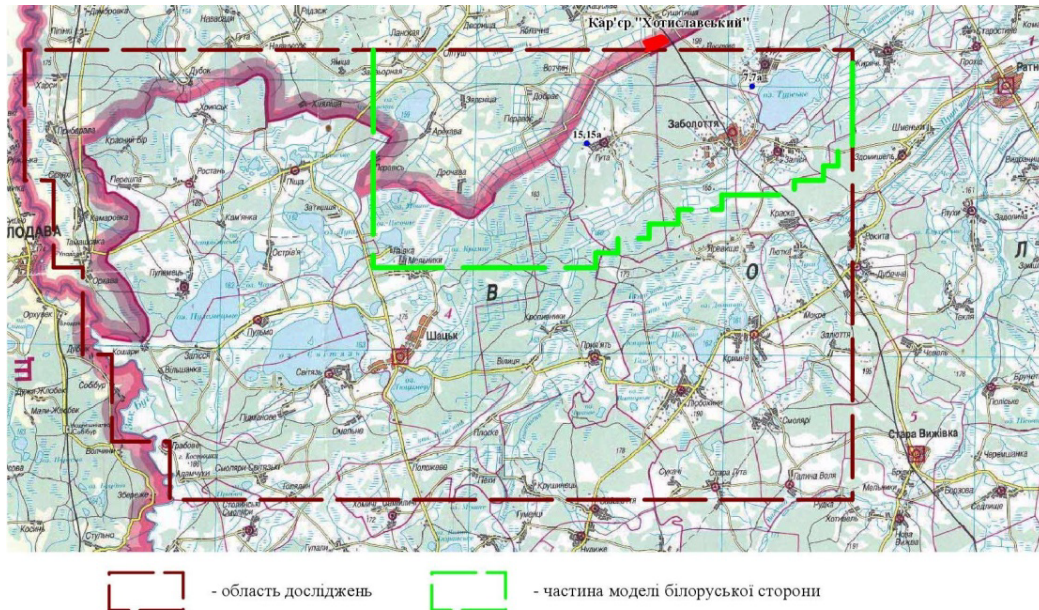


Рис. 1. Оглядова карта району досліджень. Масштаб 1:200 000

вини великого діаметра в необмеженій області фільтрації із заданням на контурі кар'єру відповідних граничних умов (величини водопритоку або постійного зниження на контурі кар'єру).

Виходячи із вищезазначеного, можна розглядати задачу водопритоку до свердловини великого діаметра в тришаровій водоносній товщі, необмеженій в плані, з відсутністю перетікання знизу та з інфільтраційним живленням [6, 12].

У припущенні жорсткого режиму фільтрації в слабопроникному розподільному прошарку зони кольматації мергельно-крейдової товщі і неврахуванні інфільтраційного живлення ґрунтового потоку процес неусталеної фільтрації можна описати системою диференціальних рівнянь у часткових похідних [12]:

$$\begin{aligned} a_1 \left( \frac{\partial^2 S_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial S_1}{\partial r} \right) - b_1 (S_1 - S_2) &= \frac{\partial S_1}{\partial t} \\ a_1 \left( \frac{\partial^2 S_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial S_2}{\partial r} \right) + b_1 (S_1 - S_2) &= \frac{\partial S_2}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

де  $a_1 = T_1/\mu_1$ ,  $a_2 = T_3/\mu_2$ ,  $b_1 = K_2/\mu_1 m_2$ ,  $b_2 = K_2/\mu_2 m_2$ ;  $S_1(r, t) = H_{oi} - H_i(r, t)$  – зниження рівнів і напорів у водоносних горизонтах з водопровідностями  $T_1 = k_1 m_1$ ,  $T_3 = k_3 m_3$ ;  $H_{oi}$  і  $H_i(r, t)$  – рівні і напори до початку і в процесі водовідбору ( $i = 1, 2$ );  $\mu_1$  і  $\mu_2$  – коефіцієнти водовіддачі горизонтів.

Система рівнянь (1) розв'язується при таких граничних умовах:

$$t = 0, S_1 = S_2 = 0$$

$$t > 0, r \rightarrow 0, 2\pi T_1 \frac{\partial S_1}{\partial r} \rightarrow -Q, \frac{\partial S_2}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

$$t > 0, r \rightarrow \infty, S_1 \rightarrow 0, S_2 \rightarrow 0$$

де  $t$  – час, доба;  $r$  – координати по простору і  $Q$  – постійний водовідбір із свердловини.

У роботі [12] наведено загальний аналітичний розв'язок даної задачі за допомогою інтегральних перетворень, який має такий вигляд відносно знижень  $S_1(r, t)$  і  $S_2(r, t)$ :

$$S_i(r, t) = \int_0^{\infty} p j_0(pr) S_i(p, t) dt \quad (3)$$

Рівняння (3) становить собою складний аналітичний вираз, який можна реалізувати лише чисельним способом. Для цього був розроблений відповідний пакет програм і розраховані спеціальні таблиці фільтраційних опорів для багат шарових схем фільтрації, що значно спрощує розрахунки і моделювання вказаного класу задач [7, 12].

Відомо, що в практичних розрахунках процес взаємозв'язку водоносних горизонтів через слабопроникні прошарки при водовідборі з одного із горизонтів, можна розділити на декілька етапів, а саме [6, 7, 12]:

малі часи, коли величина зниження в суміжному горизонті незначна, а в основному горизонті, з якого відбувається водовідбір, можна розглядати фільтрацію по схемі ізольованого пласта; проміжні часи, коли починається перетікання із суміжного горизонту;

проміжні великі часи, коли відбувається нерівномірне зниження рівнів і напорів в обох горизонтах; час, коли величину зниження можна розраховувати по схемі одношарового пласта з інтегральними параметрами усієї водовміщуючої товщі:

$$S_1(r, t) = S_2(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \quad (4)$$

де  $T = T_1 + T_3$ ,  $\mu = \mu_1 + \mu_2$ ,  $a = T/\mu$ ,  $w(u)$  – функція Тейса,  $u = r^2/4at$ .

Для малих часів вираз для розрахунку часового критерію роботи свердловини по схемі одношарового пласта має вигляд [7]:

$$t_1 \leq 0,01\mu_1 m_2 / K_2 \quad (5)$$

Підставляючи у вираз дані по водоносному горизонту четвертинних відкладів в районі кар'єру  $\mu_1 = 0,2$ ,  $m_2 = 10,0$  м,  $K_2 = 5 \cdot 10^{-3}$  м/добу, отримуємо, що  $t_1 \leq 4$  доби, тобто водовідбір з кар'єру за рахунок лише горизонту ґрунтових вод відбувався протягом 4 діб, після чого почалась взаємодія з нижнім горизонтом у мергельно-крейдовій товщі через перетікання знизу-вверх.

Оскільки, згідно з проектними рішеннями [13], видобуток крейди та піску з кар'єру планується до 2040 р., тобто на 30 років, починаючи з 2009 р., коли відбулось освоєння першої черги родовища, то представляє інтерес розрахунок часового критерію, після якого відбір з кар'єру можна змоделювати по схемі одношарового пласта з інтегральними параметрами усієї водоносної товщі. Для даного випадку рекомендується залежність [7]:

$$t_1 \geq 20 B^2/a_2, \quad r/B \geq 5 \quad (6)$$

де  $B$  – параметр перетікання, м;  $a_2$  – коефіцієнт п'єзопровідності, м<sup>2</sup>/добу.

Підставляючи дані по ділянці кар'єру, взяті з моделі білоруської сторони, отримуємо що  $B = 419$  м. При  $a_2 = 1,3 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>/добу,  $t_2 \geq 270$  діб, тобто через 270 діб систему водоносних горизонтів можна розглядати як єдиний водоносний горизонт з інтегральними параметрами усієї водовміщуючої товщі.

Як правило, при розрахунках кар'єрного водовідливу оперують поняттями відпрацювання глибини кар'єру із відповідними зниженнями рівнів ґрунтових вод у ньому. Прогнозування відносно знижень є більш обґрунтованим порівняно із заданням на кар'єрі проектних значень водовідливу, оскільки при розробці родовищ визначення величин водовідливу є наближеним у більшій мірі порівняно із розрахунками розповсю-

дження воронок депресії при постійному зниженні по контуру кар'єру.

Враховуючи прийняту схематизацію гідрогеологічних умов у розрізі по території досліджень, для визначення впливу розробки кар'єру на рівневий режим підземних вод була використана залежність [1, 9]:

$$S(r, t) = S_0 \cdot A(\tau, \rho) \quad (7)$$

де  $S(r, t)$  – величина зниження на момент часу  $t$  на відстані  $r$  від кар'єру;  $r_0$  – радіус «великого колодязя», тобто кар'єру, м;  $S_0$  – проектна величина зниження рівня ґрунтових вод при водовідливі, м;  $A(\tau, \rho)$  – спеціальна табульована функція;  $\tau = at/r_0^2$ ;  $\rho = r/r_0$ .

Перевага застосування даної моделі полягає в тому, що підрахунок знижень береться від існуючих рівнів ґрунтових вод, у яких у неявній формі враховується інфільтраційне живлення і для довгострокових прогнозів таке припущення є обґрунтованим [9].

Оскільки в результатах моделювання білоруської сторони фігурує величина проектного зниження 12,0 м при розробці першої черги родовища, було виконано моделювання розповсюдження змін у рівнях ґрунтових вод на проектний період, починаючи з початку освоєння (2009 р.) до 2040 року при  $S_0 = 12,0$ , на основі залежності виду (7).

Дані чисельного моделювання при різних відстанях від кар'єру при  $S_0 = 12,0$  м наведені в таблиці 1.

За результатами моделювання побудовано графік знижень рівня ґрунтових вод у залежності від відстані від кар'єру по площі можливого впливу на 2025 рік (рис. 2).

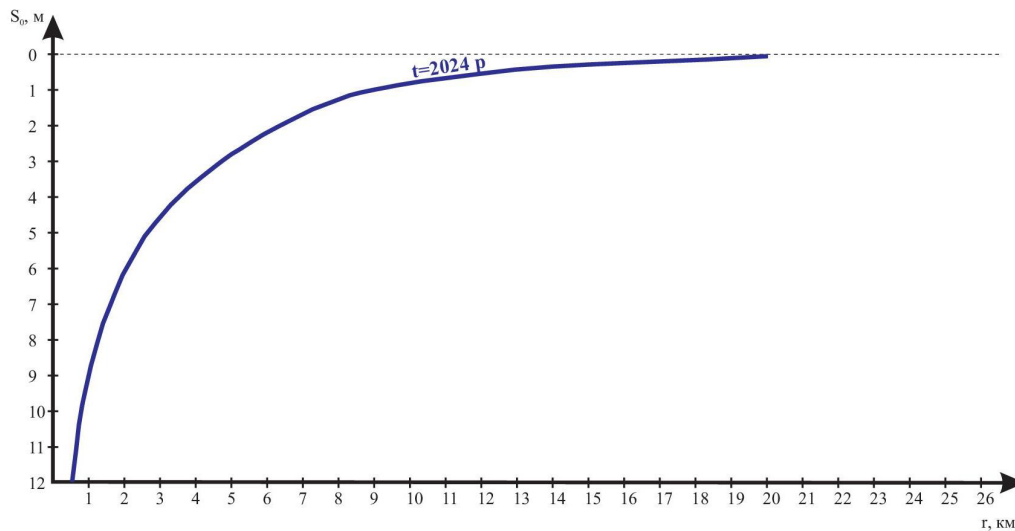
Як видно з табл. 1 та графіку знижень, станом на 2025 р. можливий вплив досягне річки Прип'ять, де прогнозується зниження  $S = 0,115$  м. Радіус впливу складатиме більш як 16 км. У зону впливу потраплять озера Святе, Велихово, водосховище Турське та значна кількість населених пунктів прикордонної з Білоруссю території.

Рівні води в озерах Святе та Велихово знизяться відповідно на 2,02 і 1,62 м при існуючій глибині оз. Святе 15,0 м, тобто глибина озера може зменшитися близько 2 м. Що стосується водосховища Турського, то при його глибині 2,0 м зниження на 1,35 м практично змінить його гідрологічний режим [14, 5]. Крім того, зниження рівнів ґрунтових вод у зоні впливу на 0,5–1,5 м погіршить умови водозабезпечення проживаючого в цій зоні населення.

Для порівняння з прогнозними рішеннями білоруської сторони на 2040 р. при  $S_0 = 12,0$  м

**1. Величини знижень рівнів ґрунтових вод на ділянці досліджень за результатами чисельного моделювання при  $S_0 = 12,0$  м**

№ п/н	Відстань від кар'єру, км	$S_0 = 12,0$ м	
		2016–2025 рр, t=10 років	2016–2040 рр, t=25 років
1.	оз. Святе, 6,0	2,02 м	3,08 м
2.	с. Гута, 7,0	1,62 м	2,6 м
3.	смт. Заболоття, 7,0	1,62 м	2,6 м
4.	оз. Волихове, 7,2	1,48 м	2,55 м
5.	вдсх. Турське, 7,6	1,35 м	2,38 м
6.	с. Заліси, 10,0	0,73 м	0,99 м
7.	с. Яревище, 14,4	0,23 м	0,85 м
8.	р. Прип'ять, 16,4	0,115 м	0,60 м
9.	оз. Кримно, 17,2	-	0,5 м
10.	смт. Ратне, 23,4	-	0,17 м
11.	оз. Люцимер, 25,6	-	0,1 м



**Рис. 2. Графік залежності величини зниження рівня ґрунтових вод від відстані до кар'єру при зниженні на його контурі  $S_0=12,0$  м на 2025 рік відпрацювання кар'єру**

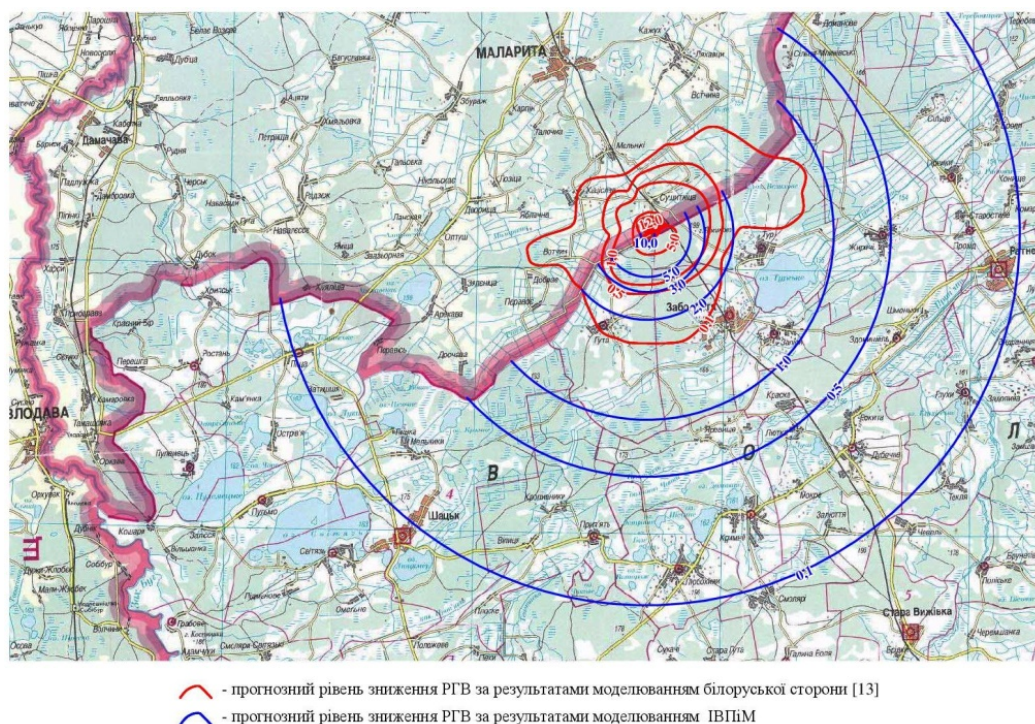
побудована відповідно схематична карта розповсюдження впливу розробки кар'єру на рівневий режим ґрунтових вод у масштабі 1:200 000 (рис. 3). Як видно з карти, величини знижень суттєво відрізняються між собою, а розповсюдження зони впливу за даними моделювання білоруської сторони станом на 2040 р. в деякій мірі співпадає з даними проведених розрахунків при  $S_0=12,0$  м станом на 2025 р. із

врахуванням і без врахування компенсаційних заходів щодо зменшення зони впливу на територію України. Отже, навіть при розробці лише верхньої частини розрізу кар'єру прогнозований вплив охопить значну територію України.

Нами проведено розрахунки знижень рівнів ґрунтових вод на прилеглий до кар'єру території на кінець 2009, 2013, 2015 і 2016 років

згідно даних білоруської сторони про водовідлив з кар'єру на основі залежності (4). Так, на 2009 р. при  $Q=1500$  м<sup>3</sup>/добу зниження на контурі кар'єру становило близько 1,8 м, а біля водосховища Турське (спостережні свердловини 7 і 7а (рис. 1) вплив не спостерігається,  $S < 0,1$  м); станом на 2013 р. при  $Q=1200$  м<sup>3</sup>/добу зниження на контурі кар'єру становило порядку 1,95 м, а в районі спостережних свердловин 7 і 7а – порядку 0,1 м; станом на 2015 р. при  $Q=7176$  м<sup>3</sup>/добу величина зниження досягла 12,4 м, а біля водосховища Турське – 1,2 м; станом на 2016 р. при  $Q=8354,7$  м<sup>3</sup>/добу величина зниження розраховується  $S=14,8$  м, а в районі водосховища Турське – біля 1,4 м.

Аналогічні розрахунки проведені на відстані 7,0 км (с. Гута), де розташовані спостережні свердловини 15 і 15а (рис. 1).



**Рис. 3. Карто-схема прогнозних знижень рівнів ґрунтових вод на площі області досліджень на 2040 р. при зниженні на контурі кар'єру  $S_0=12,0$  м**

Аналіз даних розрахунків і даних спостережних свердловин свідчить про те, що має місце достатнє узгодження даних розрахунків з режимними спостереженнями, оскільки і режимні дані і розрахункові дані показують майже однакові зниження рівнів ґрунтових вод на відстані 7,0-7,6 км від кар'єру станом на 2016 р.

Порівняльна характеристика отриманих даних дозволяє стверджувати, що для схематизованих техногенних умов в зоні можливого впливу експлуатації кар'єру вказані розрахункові моделі обґрунтовано відображають процес змін водообміну на прилеглих до кар'єру територіях.

Аналогічну картину слід чекати стосовно річкової мережі. Враховуючи той факт, що майже всі водотоки на території характеризуються незначними глибинами, наприклад глибина р. Прип'ять біля с. Річиця становить 2,73 м, а вище по руслу ще менша, глибина р. Вижівка біля смт. Вижівка – 0,97 м, то не виключено, що буде можливе пересихання усіх річок. Поступово замість функції дренажування річкова система перетвориться на область живлення ґрунтових вод, зниження рівня яких обумовить збільшення потужності зони аерації і осушення водоносного горизонту.

Слід відмітити, що на прогнозований період зросте також і водовідбір із водонос-

ного комплексу для водозабезпечення населення питною водою. Усього планується збільшення водовідбору до 50 тис. м<sup>3</sup>/добу і в цілому із врахуванням водовідливу з кар'єру водовідбір зросте до 70-75 тис. м<sup>3</sup>/добу [13].

Отже, проведені чисельно-аналітичні розрахунки та моделювання показали, що розробка родовища піску і крейди «Хотиславське» на запроєктований період експлуатації до 2040 р. суттєво змінить гідродинамічні умови території Волинського Полісся і в цілому погіршить гідрогеолого-екологічну ситуацію на визначеній території.

**Висновок.** За результатами чисельного моделювання для I черги,  $S_0 = 12,0$  м, витікає, що станом на 2025 р. можливий вплив досягне річки Прип'ять, де прогнозується зниження  $S = 0,115$  м. Радіус впливу складатиме більше 16 км. У зону впливу потраплять озера Святе, Велихово, водосховище Турське та значна кількість населених пунктів прикордонної з Білоруссю території, що спричинить погіршення умов водозабезпечення.

Порівняльна характеристика отриманих даних дозволяє стверджувати, що для схематизованих антропогенних умов в зоні можливого впливу експлуатації кар'єру, вказані розрахункові моделі обґрунтовано відображають процес змін водообміну на прилеглих до кар'єру територіях.

### Бібліографія

1. Основы гидрогеологических расчетов. Бочеввер Ф. М. и др. Москва: Недра, 1965. 250 с.
2. Шацьке поозер'я. Геологічна будова та гідрогеологічні умови. Залеський І.І. та ін. Луцьк: Східноєвропейський національний університет, 2014. 188 с.
3. Заявление о воздействии на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности «Разработка меловой залежи месторождения «Хотиславское» (II очередь) в Малоритском районе Брестской области». Минск: Кварцтелпром, РУП ЦНИИКИВР, ГНПО «НАН Беларуси по биоресурсам», 2009. 12 с.
4. Зузук Ф. В. Вірогідність впливу розробки Хотиславського родовища крейди на заповідні екосистеми Волині. // Зб. наук. праць "Природа Західного Полісся", Луцьк: СНУ ім. Лесі Українки. 2016. №9. С. 3–11.
5. Гльїн Л. В. Озера Волині: лімногографічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
6. Ломакин Е. А., Мироненко В. А., Шестаков В. М. Численное моделирование геофильтрации. Москва: Недра, 1988. 228 с.
7. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления в зоне орошения. Киев: Минводхоз УССР, 1986. 392 с.
8. Мокрий В. І. Моніторинг, моделювання і прогнозування впливу Хотиславського кар'єру на гідрогеологічні і лісоекологічні умови природно-заповідних об'єктів Західного Полісся. // Зб. наук. праць "Природа Західного Полісся та прилеглих територій", Луцьк: СНУ ім. Лесі Українки. 2012. №9. С. 284–288.
9. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод. Ленинград: Недра, 1988. 261с.
10. О мониторинге в районе месторождения "Хотиславское". Письмо Минприроды Республики Беларусь Министерству экологии и природных ресурсов Украины от 24.07.2017 за №3-10/36 – имо. Минск, 2017. 12 с.
11. О мониторинге в районе месторождения песка и мела "Хотиславское". Письмо Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Минск: №13-11/3536-вн от 27.12.2016. 11 с.
12. Олейник А. Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. Киев: Наукова думка, 1978. 202 с.
13. Отчет о результатах проведения оценки воздействия на окружающую среду добычи мела на участке месторождения «Хотиславское» в Малоритском районе Брестской области. В 2-х книгах. Кн. 1. Оценка воздействия разработки месторождения мела «Хотиславское» (II очередь) на гидролого-гидрогеологические условия прилегающей территории. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов (РУП «ЦНИИКИВР»». Минск, 2009. 142 с.
14. Природа Західного Полісся, прилегло до Хотиславського кар'єру Білорусі / за ред. Ф.В. Зузка. Луцьк: Східноєвропейський національний університет, 2014. 246 с.
15. Ромащенко М. І., Бахмачук Ю. Й. Формування режиму природних вод району Шацьких озер в сучасних умовах. Київ: Аграрна наука, 2004. 96 с.
16. Водобмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водобмена. Шестопалов В. М. и др. Киев: Наукова думка, 1988. 267 с.

### References

1. Bochever, F., Garmonov, I., Lebedev, D., Shestakov, V. (1965). *Osnovy gidrogeologicheskikh raschetov* [Foundations of hydrogeological calculations]. Moscow: Nedra. [in Ukrainian].
2. Zaleskiy, I., Zuzuk, F., Melnychuk, V., Matejuk, V. (2014). *Shats'ke poozer'ya. Heolohichna budova ta hidroheolohichni umovy* [Shatskoe lake. Geological structure and hydrogeological conditions]. Lutsk: Skhidnoyevropeys'kyu natsional'nyu universytet. [in Ukrainian].
3. Kvarcsmelprom, RUP TSNIKIIVR, GNPO «NAN Belarusi po bioresursam» (2009). *Zayavleniye o vozdeystvii na okruzhayushchuyu sredy planiruyemoy khozyaystvennoy deyatel'nosti «Razrabotka melovoy zalezhi mestorozhdeniya «Khotislavskoye» (II ochered') v Maloritskom rayone Brestskoy oblasti»* [Statement on the impact on the environment of the planned economic activity "Development of a chalk deposit "Hotislavskoe" (Phase II) in the Malorita District of the Brest Region"]. Bilorus', Minsk. [in Russian].
4. Zuzuk, F. (2016). *Virohidnist' vplyvu rozrobky Khotyslavs'koho rodovyshcha kreydy na zapovidni ekosystemy Volyni* [Probability of the influence of the development of the Khotilaslavskoe field of chalk on the protected ecosystems of Volyn]. Pryroda Zakhidnoho Polissya. Lutsk, SNU im. Lesi Ukrayinky. 9. P. 3-11.

5. Ilyin, L. (2000). *Ozera Volyni: limnoheohrafichna kharakterystyka [Lakes of Volyn: Limogeographical characteristic]*. Lutsk: Nadstyr'ya. [in Ukrainian].
6. Lomakin, E., Mironenko, V., Shestakov, V. (1988). *Chislennoye modelirovaniye geofil'tratsii [Numerical modeling of geofiltration]*. Moscow: Nedra. [in Russian].
7. *Metodicheskiye rekomendatsii po raschetam zashchity territoriy ot podtopleniya v zone orosheniya [Methodical recommendations for calculating the protection of territories from flooding in the irrigation zone]*. (1986). Kiev: Minvodhoz USSR. [in Russian].
8. Мокруу, V.I. (2012). *Monitorynh, modelyuvannya i prohnovuvannya vplyvu Khotylslav'skoho kar'yeru na hidroheolohichni i lisoekolohichni umovy pryrodno-zapovidnykh ob'yektiv Zakhidnoho Polissya [Monitoring, modeling and forecasting of the influence of Khotylaslav's career on hydro-geological and forest-ecological conditions of nature reserves of Western Polissya]*. *Pryroda Zakhidnoho Polissya ta prylehlykh terytoriy*. Lutsk, SNU im. Lesi Ukrayinky, 9. 284-288. [in Ukrainian].
9. Norvatov, Yu. (1988). *Izucheniye i prognoz tekhnogennogo rezhima podzemnykh vod [The study and forecast of the technogenic regime of groundwater]*. Leningrad: Nedra. [in Russian].
10. *O monitoringe v rayone mestorozhdeniya "Khotislavskoye" [On monitoring in the area of the deposit "Hotislavskoye"]*. (2017). *Pis'mo Minprirody Respubliki Belarus' Ministerstvu ekologii i prirodnykh resursov Ukrainy ot 24.07.2017 za №3-10/36 – imo*. Minsk. [in Russian].
11. *O monitoringe v rayone mestorozhdeniya peska i mela "Khotislavskoye" [About monitoring in the area of sand and chalk deposit "Hotislavskoye"]* (2016). *Pis'mo Ministerstva prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey srody Respubliki Belarus'*. Minsk: №13-11/3536-vn 27.12.2016. Minsk. [in Russian].
12. Oleinik, A. (1978). *Fil'tratsionnyye raschety vertikal'nogo drenazha [Filtration calculations of vertical drainage]*. Kiev: Naukova dumka. [in Russian].
13. RUP «TsNIKIIVR» (2009). *Otchet o rezul'tatakh provedeniya otsenki vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu dobychi mela na uchastke mestorozhdeniya «Khotislavskoye» v Maloritskom rayone Brestskoy oblasti. V 2-kh knigakh. Kn. 1. Otsenka vozdeystviya razrabotki mestorozhdeniya mela «Khotislavskoye» (II ochered') na gidrologo-gidrogeologicheskiye usloviya privileyushchey territorii. Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey srody Respubliki Belarus' [Report on the results of the environmental impact assessment of chalk production at the site of the Hotislavskoye deposit in the Malorita district of the Brest Region. In 2 books. Book. 1. Assessment of the impact of the development of the Chotislavskoye chalk deposit (Stage II) on the hydrological and hydrogeological conditions of the adjacent territory. Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus]*. Minsk. RUP «TsNIKIIVR». [in Russian].
14. Zuzuk, V.F. (Ed.). (2014)/ *Pryroda Zakhidnoho Polissya, prylehloho do Khotylslav'skoho kar'yeru Bilorusi [Nature of Western Polissya adjacent to Khotylslavsky's career in Belarus]*. Lutsk: *Skhidnoyevropeys'kyy natsional'nyy universytet*. [in Ukrainian].
15. Romashchenko, M. I., Bakhmachuk, YU. Y. (2004). *Formuvannya rezhymu pryrodnykh vod rayonu Shats'kykh ozer v suchasnykh umovakh [Formation of the natural waters regime in the Shatsk lakes district in modern conditions]*. Kyiv: *Ahrarna nauka*. [in Ukrainian].
16. Shestopalov, V., Sitnikov, A., Lyalko, V., Pashkovskiy, I. (1988). *Vodoobmen v gidrogeologicheskikh strukturakh Ukrainy. Metody izucheniya vodoobmena [Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Methods of studying water exchange]*. Kiev: Naukova dumka. [in Ukrainian].

**А. А. Дятел, С. В. Телыма**

**Расчеты и прогнозирование влияния карьера «Хотиславский»  
на гидродинамику грунтовых и подземных вод Волынского Полесья**

*Рассмотрены вопросы влияния карьера «Хотиславский» на гидродинамику грунтовых и подземных вод Волынского Полесья. Используются аналитические методы расчета процессов геофильтрации и методы математического моделирования. Проведен анализ обоснованности прогнозных расчетов и моделирования воздействия карьера на территорию Украины, выполненных предыдущими исследователями, и сопоставление данных.*

**A. Diatel, S. Telyma**

**Calculations and prognosis of the influence of the "Hotylslavsky"**

**open cast on the hydrodynamic of the ground and underground waters of the Volyn Polissya**

*The problems of the influence of the "Khotislavsky" quarry on the hydrodynamics of ground and underground waters of Volyn Polissya are considered. At this the analytical methods of calculation of geofiltration processes and methods of mathematical modeling were used. The analysis of the validity of forecast calculations and modeling of the influence of a quarry on the territory of Ukraine carried out performed by previous researchers and the comparison of data are carried out.*

DOI: 10.31073/mivg201801-117

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/117>

УДК 532.5:539.4:626/627

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХИСНИХ ПРОТИПАВОДКОВИХ ПОКРИТТІВ РУСЕЛ ГІРСЬКИХ РІЧОК

В.І. Петроченко<sup>1</sup>, канд. тех. наук, О.В. Петроченко<sup>2</sup>, канд. тех. наук

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: v\_petr47@ukr.net

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: a\_petr89@ukr.net

***Анотація.** Розроблено методику обґрунтування конструктивних рішень та розрахунку параметрів захисних протиаводкових покриттів русел гірських річок. В основу методики покладено критерій стійкості захисних покриттів до розмивання та зрушення паводковим потоком розрахункової забезпеченості. Методика пропонується для практичного застосування на стадії розробки проектів систем протиаводкового захисту.*

***Ключові слова:** гірська річка, паводок, забезпеченість паводка, захисне покриття русла річки, капітальні та експлуатаційні витрати*

**Проблема та її актуальність.** Одним з основних заходів превентивного протиаводкового захисту є регулювання русел річок та їх кріплення. Такі заходи здійснюють переважно на гірських річках, русла яких є найбільш уразливими під час проходження руйнівних паводкових потоків. Для захисту русел гірських річок від руйнівної дії паводкового потоку використовують різні конструкції захисних покриттів: кам'яні, бетонні, дерев'яні, полімерні, біологічні, комбіновані та інші.

Проте, до цього часу науково-методичних засад з обґрунтування вибору конструктивних рішень та розрахунку параметрів захисних протиаводкових покриттів русел річок не створено. Проектні рішення захисних протиаводкових покриттів русел річок найчастіше приймають або з недостатнім, або із занадто великим запасом стійкості до гідродинамічних навантажень, що виникають під час проходження паводків. У першому випадку маємо економічні збитки, унаслідок руйнування паводковим потоком недостатньо стійкого захисного покриття. У другому випадку маємо невиправдано великі будівельні витрати.

Отже, одним з актуальних напрямів вирішення загальної проблеми протиаводкового захисту в басейнах гірських річок є створення та практичне застосування на стадії проектування науково-методичних засад з обґрунтування конструкцій захисних протиаводкових покриттів гірських річок та їх параметрів як за критерієм забезпечення стійкості покриттів до руйнування паводковим потоком, так і за критерієм досягнення мінімальних будівельних та експлуатаційних витрат.

**Метою дослідження** є підвищення технічної надійності та економічної ефективності проектів захисних протиаводкових покриттів гірських річок.

**Основним завданням дослідження** є розробка методики обґрунтування технічно надійних та економічно доцільних конструктивних рішень захисних протиаводкових покриттів гірських річок та розрахунку їх параметрів.

**Методи дослідження.** У роботі використано системний та аналітичний методи дослідження комплексу природних факторів, що впливають на стійкість покриттів русел гірських річок до гідродинамічних навантажень під час проходження паводків.

**Результати дослідження.** Кінцевим науково-практичним результатом даного дослідження є методика обґрунтування конструктивних рішень захисних покриттів гірських річок та розрахунку їх параметрів, яка пропонується для практичного застосування під час розробки проектів систем протиаводкового захисту. Суть методики та наукове обґрунтування її основних положень викладено за такими розділами.

### **1. Визначення розрахункової витрати паводкового потоку.**

Розрахункова витрата паводкового потоку  $Q_p$  у річці є основним вихідним параметром на стадії розробки проекту протиаводкових заходів в басейні річки. Витрата  $Q_p$  відповідає піковому значенню гідрографа паводка розрахункової (прийнятої за проектом) забезпеченості паводка  $p$ . За результатами досліджень [1] функцію витрати  $Q_p$  від аргументу  $p$  апроксимують на етапі передпроектних



досліджень у вигляді спадної гіперболічної залежності:

$$Q_p = \frac{k_1}{p} + k_2. \quad (1)$$

Невідомі коефіцієнти  $k_1$  і  $k_2$  знаходять за методом найменших квадратів на базі ряду емпіричних точок  $(Q_m, p_m)$ , отриманих за результатами гідрологічних спостережень за минулі роки. Кожну пару емпіричних точок  $(Q_m, p_m)$  визначають, користуючись формулою:

$$p_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість років спостережень, у кожному з яких була зафіксована максимальна витрата води в річці;  $m$  – порядковий номер року, у якому зафіксовано витрату води  $Q_m$  (найбільшу протягом  $m$ -го року);  $p_m$  – забезпеченість паводка  $m$ -го року, або імовірність (у відсотках) перевищення протягом  $n$  років витрати води у річці  $Q_m$ .

## 2. Визначення поперечних профілів русла річки.

З огляду на можливі зміни по довжині річки трьох її основних показників: подовженого уклону, фізичних властивостей ґрунтової основи, витрати води  $Q_p$ , річку ділять на окремі ділянки з визначенням розрахункових створів між ділянками. Приймається, що на ділянках річки захисні покриття можуть відрізнятися за конструктивними рішеннями, або за їх параметрами. На кожному  $j$ -му розрахунковому створі будують поперечний профіль русла річки з урахуванням руслорегулювальних заходів.

Руслорегулювальними заходами передбачено здійснення таких робіт: розчищення русла річки від мулу, поглиблення дна та розширення русла, випрямлення русла, спорудження берегових дамб (підвищення берегів), відкопування розвантажувальних каналів тощо. Для кожного характерного  $j$ -го створу річки визначають морфометричні характеристики поперечного перерізу русла і живого (водного) перерізу.

Поперечний переріз русла річки на  $j$ -му створі характеризується формою профілю (переважно у вигляді параболи) та основними морфометричними елементами: максимальна глибина русла  $H_j$ , ширина русла з урахуванням берм  $B_j$ , периметр профілю русла  $P_j$ . За поперечним перерізом русла річки на  $j$ -му створі визначають проектні параметри захисного протипаводкового покриття, основним з яких є периметр покриття.

Живий (водний) переріз русла річки на  $j$ -му створі характеризується такими морфо-

метричними елементами: площа  $\omega_j$ , максимальна глибина  $h_j$ , ширина водної поверхні  $b_j$ , змочений периметр  $\chi_j$ . За живим перерізом русла визначають гідродинамічні характеристики паводкового потоку, основною з яких є середня швидкість потоку води  $v_j$ , яку визначають за формулою:

$$v_j = Q_p^j / \omega_j, \quad (3)$$

де  $Q_p^j$  – витрата паводкового потоку на  $j$ -му створі, м<sup>3</sup>/с.

Якщо на  $j$ -му створі є гідрометричний пост, витрату  $Q_p^j$  визначають за формулою (1), використовуючи результати спостережень. У разі відсутності гідрометричного поста витрату  $Q_p^j$  визначають за формулою:

$$Q_p^j = Q_p + \sum_{\theta=1}^{j-1} \Delta Q_{\theta 0}^0 - \sum_{\theta=1}^{j-1} \Delta Q_{\theta m}^0, \quad (4)$$

де  $Q_p$  – розрахована за формулою (1) витрата паводкового потоку на початковому (нульовому) створі річки, обладнаному гідропостом, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta Q_{\theta 0}^0$  – витрата води, що надходить до річки з її притоки на попередньому  $\theta$ -му створі, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta Q_{\theta m}^0$  – витрата витоків води з річки на  $\theta$ -му створі у протипаводкове водосховище або через розвантажувальний канал, м<sup>3</sup>/с.

## 3. Визначення послідовності аналізу та обґрунтування альтернативних варіантів конструктивних рішень захисних покриттів.

Першим критерієм вибору конструктивного рішення захисного покриття русла річки є забезпечення стійкості покриття до розмивання та зрушення паводковим потоком. Другим критерієм є досягнення мінімальних витрат на будівництво та експлуатацію захисного покриття. Зваживши на це, доцільно перший критерій обрати за основний, за яким приймають проектне рішення, а процедуру аналізу та обґрунтування альтернативних варіантів захисного покриття слід починати з найбільш дешевого варіанту.

## 4. Визначення ділянок річки, що не потребують захисних заходів.

Ділянки русел річок не потребують кріплення, якщо розрахована за формулою (3) середня швидкість руху води  $v_j$  не буде перевищувати допустиму нерозмивну швидкість  $[v_j]_{ep}$  ґрунтової основи русла. Для визначення швидкості  $[v_j]_{ep}$  використовують формулу Б.І. Студенічкінова (5), якщо  $h_j/d_j \leq 600$  або формулу А.М. Латишенкова (6), якщо  $h_j/d_j > 600$  [2].

$$[v_j]_{ep} = 3,6 \sqrt[4]{d_j h_j}, \text{ м / с}; \quad (5)$$

$$[v_j]_{cp} = 5d_j^{0,3} h_j^{0,2}, \text{ м / с}, \quad (6)$$

де  $d_j$  – середній діаметр частинок ґрунту, м;  
 $h_j$  – глибина потоку, м.

Вихідними параметрами розрахунку середньої швидкості потоку води  $v_j$  є витрата  $Q_p^j$  і похил  $i_j$  дна русла на  $j$ -й ділянці. Швидкість  $v_j$  і площу живого перерізу потоку  $\omega_j$  визначають методом поступового наближення, використовуючи формулу Шезі [2-4]:

$$v_j = W_j \sqrt{i_j}, \quad (7)$$

де  $W_j$  – швидкісна характеристика потоку, м/с.

$W_j$  визначають за формулами:

$$W_j = \frac{1}{n_j} R_j^Z; \quad (8) \quad R_j = \omega_j / \chi_j, \quad (9)$$

де  $n_j$  – коефіцієнт шорсткості поверхні русла річки, який обирають за таблицею 7.4 [2];  $R_j$  – гідравлічний радіус, м;  $\chi_j$  – змочений периметр, м;  $Z$  – показник ступеня, який визначають за таблицею VI.2 [3] або за формулою М.М. Павловського [3]:

$$Z = 2,5\sqrt{n_j} - 0,13 - 0,75\sqrt{R_j} (\sqrt{n_j} - 0,1). \quad (10)$$

Після визначення методом послідовного наближення швидкості  $v_j$  за формулою (7) її порівнюють з максимально допустимою швидкістю  $[v_j]$ . Якщо на  $j$ -й ділянці річки встановлено співвідношення  $v_j < [v_j]$ , на цій ділянці захисне покриття не споруджують. Якщо на  $j$ -й ділянці має місце  $v_j > [v_j]$ , перевіряють варіант застосування захисного покриття з кам'яного накиду.

##### 5. Розрахунок захисного покриття з насипних кам'яних матеріалів.

Найбільш простим конструктивним рішенням захисного покриття річки є кам'яний накид уздовж змоченого периметра русла. Допустима нерозмивна швидкість  $[v_j]_{kn}$  на  $j$ -й ділянці русла з кам'яним накидом може бути розрахована за формулою Б.І. Студенічківа із застосуванням рекомендованого коефіцієнта  $K_{kn} = 0,9$ , за яким враховано ризик руйнування та втрати вартості кам'яного накиду під час проходження руйнівного паводка:

$$[v_j]_{kn} = K_{kn} 3,6 \sqrt{D_j h_j}, \text{ м / с}, \quad (11)$$

де  $D_j$  – середній діаметр каменя накиду, м;  
 $h_j$  – глибина потоку, м.

Швидкість  $[v_j]_{kn}$  також може бути визначена за таблицями 7.10 і 7.12 [2].

Середню швидкість  $v_j$  і площу живого перерізу потоку  $\omega_j$  для русла з покриттям із кам'яного накиду визначають по аналогії з

руслем без покриття, користуючись формулами (7)-(10). У разі  $v_j < [v_j]_{kn}$  роблять висновок про доцільність використання кам'яного накиду для протипаводкового захисту русла річки на  $j$ -й ділянці. У разі  $v_j > [v_j]_{kn}$  приймають рішення про використання на  $j$ -й ділянці річки покриття зв'язаної конструкції.

##### 6. Обґрунтування захисного покриття зв'язаної конструкції.

До захисних протипаводкових покриттів русел річок зв'язаної конструкції відносять: габіони; покриття у вигляді гнучких решіток, утворених із залізобетонних блоків стрижневого типу, порожнини між якими заповнені кам'яним накидом [5]; гнучке покриття із залізобетонних плит [6]; об'ємні геосинтетичні ковдри, завантажені заповнювачами тощо.

Зв'язані покриття русел річок через їх конструктивні особливості мають достатню стійкість до розмивання паводковим потоком, проте виникає потреба наукового обґрунтування їхньої стійкості до зрушення на поверхні земляного русла силою гідродинамічного тиску паводкового потоку.

Покриття зв'язаної конструкції, наприклад із габіонів, показано на рис. 1, поз. 2 (правий берег русла річки). Для визначення умов стійкості покриття зв'язаної конструкції на поверхні земляного русла запишемо рівняння Д. Бернуллі для руху одиниці об'єму потоку від  $(j-1)$ -го до  $j$ -го створу річки:

$$(z_j - z_{j-1}) + \left( \frac{\alpha_1 v_j^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_{j-1}^2}{2g} \right) = h_F, \quad (12)$$

де  $z_j$  і  $z_{j-1}$  – п'езометрична висота води у річці на  $j$ -му і  $(j-1)$ -му створі, м;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – коефіцієнти Коріоліса, що враховують нерівномірність швидкостей по площині перетину потоку;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $h_F$  – питомі втрати напору на подолання сил тертя води об поверхню покриття, м.

Зваживши на те, що розрахунок стійкості покриття виконують для пікової витрати паводкового потоку  $Q_p^j$ , яка триває довше, ніж період проходження елементарного об'єму води від  $(j-1)$ -го до  $j$ -го створу, можна вважати рух води на  $j$ -й ділянці квазіусталеним ( $Q_p^j = Q_p^{j-1}$ ). Це дає підставу вважати:  $v_j = v_{j-1}$ ;  $\alpha_1 = \alpha_2$ . Крім того, для квазіусталеного руху води за умови  $\omega_j = \text{const}$  п'езометричний і гідравлічний похили співпадають. П'езометрична лінія 9 паралельна подовжній лінії дна 10 (рис. 1), що дає змогу визначити:

$$z_j - z_{j-1} = \Delta z_j = i_j L_j, \quad (13)$$

де  $i_j$  і  $L_j$  – гідравлічний похил і довжина  $j$ -ї ділянки річки, м.

З урахуванням наведеного, рівняння Д. Бернуллі (12) буде мати вид:

$$i_j L_j = h_F. \quad (14)$$

Для усього об'єму води  $w_j$  між  $(j-1)$ -м і  $j$ -м створами ( $w_j = \omega_j L_j$ ) відповідно до (14) маємо рівняння:

$$\Delta E_j = A_j^F, \quad (15)$$

де  $\Delta E_j$  – зменшення потенційної енергії об'єму води  $w_j$ , який проходить шлях  $L_j$ , Н·м;  $A_j^F$  – робота сил тертя об'єму води  $w_j$  о поверхню покриття, Н·м.

$\Delta E_j$  визначають шляхом інтегрування:

$$\begin{aligned} \Delta E_j &= \int_{z=0}^{\Delta z_j} \int_{x=0}^{L_j} \rho g \omega_j dx dz = \\ &= \rho g \omega_j \Delta z_j L_j = \rho g \omega_j i_j L_j^2, \end{aligned} \quad (16)$$

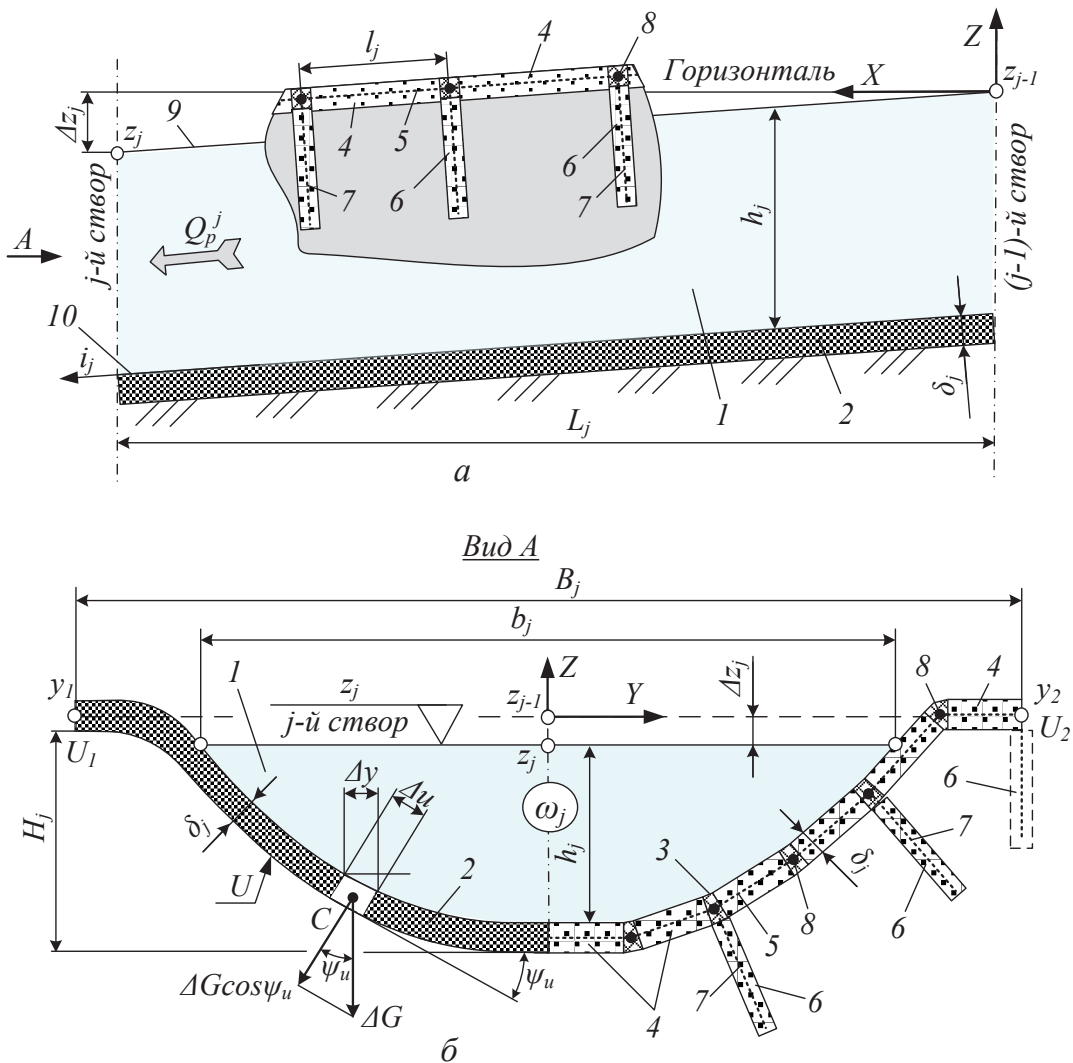
де  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>.

Поділивши ліву і праву частини рівняння (15) на  $L_j$ , маємо:

$$\Delta E_j / L_j = P_j^{z0} = A_j^F / L_j = F_j^{e-n}, \quad (17)$$

$$\text{звідки: } F_j^{e-n} = P_j^{z0} = \Delta g \omega_j i_j L_j, \quad (18)$$

де  $P_j^{z0}$  – гідродинамічна сила, що діє на  $j$ -у ділянку покриття в напрямі руху води, Н;



**Рис. 1. Схема  $j$ -ї ділянки русла річки:**

$a$  – подовжній переріз русла річки на  $j$ -ї ділянці;  $b$  – поперечний переріз русла річки на  $j$ -ї ділянці (вид А); 1 – русло річки; 2 – берегоукріплювальне покриття з насипних кам'яних матеріалів; 3 – гнучке берегоукріплювальне покриття зв'язаної конструкції з анкерним кріпленням; 4 – залізобетонний берегоукріплювальний блок; 5 – арматура блоку 4; 6 – залізобетонний анкер; 7 – арматура анкера; 8 – гнучке кріплення блоків до анкера; 9 – н'єзометрична лінія; 10 – подовжжня лінія дна річки.

$F_j^{e-n}$  – сила тертя об'єму води  $w_j$  об поверхню покриття,  $H$ .

Запишемо умови стійкості захисного покриття на земляній основі русла:

$$P_j^{e0} = F_j^{e-n} < F_j^{n-zp} = k_{zp} [F_j]^{n-zp}, \quad (19)$$

де  $F_j^{n-zp}$  – сила тертя опірної поверхні покриття об ґрунтову основу русла,  $H$ ;  $[F_j]^{n-zp}$  – гранична сила тертя опірної поверхні покриття в момент його зрушення на ґрунтовій основі русла,  $H$ ;  $k_{zp}$  – коефіцієнт запасу стійкості покриття, що комплексно враховує коливання гідродинамічних сил, нерівномірність розподілу сил тертя між поверхнею покриття і ґрунтом, похибки гідрологічних прогнозів тощо. Пропонується приймати  $k_{zp} = 0,7$ .

Граничну силу тертя  $[F_j]^{n-zp}$  доцільно визначати по частинах:

$$[F_j]^{n-zp} = [F_j^G]^{n-zp} - [F_j^A]^{n-zp}, \quad (20)$$

де  $[F_j^G]^{n-zp}$  – гранична сила тертя опірної поверхні покриття об ґрунт без урахування впливу архімедової сили на занурену у воду частину покриття,  $H$ ;  $[F_j^A]^{n-zp}$  – зменшення сили тертя  $[F_j^G]^{n-zp}$  завдяки дії архімедової сили,  $H$ .

Силу  $[F_j^G]^{n-zp}$  представимо криволінійним інтегралом першого роду

$$[F_j^G]^{n-zp} = \int_{U_1}^{U_2} \int_{x=0}^{L_j} \zeta \, du \, dx = L_j \int_{U_1}^{U_2} \zeta \, du, \quad (21)$$

де  $\zeta$  – питома сила тертя покриття об ґрунт,  $H/m^2$ ;  $U_1$ ,  $U_2$  – граничні параметри інтегрування сили  $\zeta$  вздовж лінії  $U$  поверхні тертя,  $m$ .

Для визначення  $\zeta$ , виділимо у захисному покритті елементарний прямокутний паралелепіпед  $C$  масою  $\Delta G$  зі сторонами  $\Delta u$ ,  $\Delta x$ ,  $\delta$  (рис. 1). Знайдемо силу тертя елементарного паралелепіпеда  $\Delta F_{ux}$  ( $H$ ) у напрямі осі  $X$ :

$$\Delta F_{ux} = f \rho_{on} g \delta_j \Delta x \Delta u \cos \psi_u, \quad (22)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя підшви покриття об ґрунт;  $\rho_{on}$  – об'ємна густина конструкції покриття,  $kg/m^3$ ;  $\delta_j$  – товщина покриття,  $m$ ;  $\psi_u$  – кут нахилу укосу русла до горизонтальної площини (залежить від аргументу  $u$ ), град.

Визначимо  $\zeta$  для виділеного елементарного паралелепіпеда  $C$ :

$$\zeta = \Delta F_{ux} / \Delta x \Delta u = f \rho_{on} g \delta_j \cos \psi_u. \quad (23)$$

Введемо значення  $\zeta$  з (23) в криволінійний інтеграл (21):

$$[F_j^G]^{n-zp} = L_j \int_{U_1}^{U_2} f \rho_{on} g \delta_j \cos \psi_u \, du. \quad (24)$$

Оскільки  $\Delta u \cos \psi_u = \Delta y$  (рис. 1), то в підінтегральній функції інтегралу (24) доцільно

зробити заміну аргументу  $u$  на  $y$  ( $\cos \psi_u \, du = dy$ ) при відповідних граничних параметрах інтегрування:  $U_1 \rightarrow y_1 = -B_j/2$ ;  $U_2 \rightarrow y_2 = +B_j/2$ . Тоді силу  $[F_j^G]^{n-zp}$  визначають за допомогою звичайного інтегралу:

$$[F_j^G]^{n-zp} = L_j \int_{y=-B_j/2}^{y=+B_j/2} f \rho_{on} g \delta_j \, dy = f \rho_{on} g \delta_j L_j B_j, \quad (25)$$

де  $B_j$  – ширина русла (покриття по осі  $Y$ ) з урахуванням берм,  $m$ .

Силу  $[F_j^A]^{n-zp}$  зменшення тертя від дії архімедової сили виштовхування визначають по аналогії з визначенням сили  $[F_j^G]^{n-zp}$  за допомогою інтегралу:

$$[F_j^A]^{n-zp} = L_j \int_{y=-b_j/2}^{y=+b_j/2} f \rho_{on} \frac{\rho}{\rho_{mn}} g \delta_j \, dy = f \rho_{on} \frac{\rho}{\rho_{mn}} g \delta_j L_j b_j, \quad (26)$$

де  $\rho_{mn}$  – густина матеріалу покриття,  $kg/m^3$ ;  $b_j$  – ширина дзеркала води,  $m$ .

Визначимо силу  $[F_j]^{n-zp}$ , скориставшись залежностями (20), (25) і (26).

$$[F_j]^{n-zp} = f \rho_{on} g \delta_j L_j \left( B_j - \frac{\rho}{\rho_{mn}} b_j \right). \quad (27)$$

Запишемо умову стійкості покриття (19) з урахуванням залежності (18) визначення гідродинамічної сили зрушення  $P_j^{e0}$  і залежності (27) визначення сили  $[F_j]^{n-zp}$  тертя при зрушенні покриття на поверхні ґрунтової основи русла:

$$\rho g \omega_j i_j L_j = k_{zp} f \rho_{on} g \delta_j L_j \left( B_j - \frac{\rho}{\rho_{mn}} b_j \right), \quad (28)$$

або після спрощення:

$$\rho \omega_j i_j = k_{zp} f \rho_{on} \delta_j \left( B_j - \frac{\rho}{\rho_{mn}} b_j \right). \quad (29)$$

Основним розрахунковим параметром покриття зв'язаної конструкції є товщина  $\delta_j$ , тому умову стійкості покриття (28) доцільно записати так:

$$\delta_j = \frac{\rho \omega_j i_j}{k_{zp} f \rho_{on} \left( B_j - \frac{\rho}{\rho_{mn}} b_j \right)}. \quad (30)$$

Проектна товщина покриття  $\delta_j$  зазвичай складає 0,3...0,5 м. Якщо розрахована за формулою (30)  $\delta_j$  буде занадто великою, то для економії матеріалів приймається проектне рішення берегоукріплювального покриття зв'язаної конструкції з додатковими анкерами (рис. 1, поз. 6).

### 7. Обґрунтування захисного покриття русла річки зв'язаної конструкції з анкерними елементами

Обґрунтування параметрів гнучкого берегоукріплювального покриття зв'язаної конструкції з додатковими анкерами здійснюють на основі вищенаведених методичних засад з обґрунтування параметрів покриття зв'язаної конструкції, а також з урахуванням дії сил реакції ґрунту на анкери.

По аналогії з розрахунковими залежностями забезпечення стійкості покриття зв'язаної конструкції з урахуванням залежностей (18), (19), (28) і (29) запишемо умову стійкості покриття зв'язаної конструкції з анкерами:

$$P_j^{z\partial} = k_{zp} [F_j]^{n-zp} + R_j^a, \quad (31)$$

$$\rho \omega_j i_j L_j = k_{zp} \left[ f \rho_{on} \delta_j L_j \left( B_j - \frac{\rho}{\rho_{mn}} b_j \right) + R_0^a \frac{L_j}{l_j} K_j^a \right], \quad (32)$$

де  $R_j^a$  – сумарна горизонтальна протизсувна сила реакції групи анкерів на  $j$ -й ділянці, Н;  $R_0^a$  – горизонтальна сила реакції одного зануреного в ґрунт анкера, Н;  $K_j^a$  – кількість анкерів, встановлених в одному ряду поперечного перерізу  $j$ -ї ділянки русла річки;  $l_j$  – крок між рядами анкерів, м.

Розрахунковими параметрами покриття такої конструкції є параметри його анкерного кріплення  $R_0^a$ ,  $l_j$ ,  $K_j^a$ , які обирають, користуючись формулою:

$$R_0^a \frac{K_j^a}{l_j} = \frac{\rho \omega_j i_j}{k_{zp}} - f \rho_{on} \delta_j \left( B_j - \frac{\rho}{\rho_{mn}} b_j \right). \quad (33)$$

**Висновки.** Через недосконалість існуючих науково-методичних розробок з обґрунтування конструктивних рішень та параметрів захисних протиаводкових покриттів русел гірських річок проекти захисних покриттів річок найчастіше розроблюють або з недостатнім, або з занадто великим запасом їх стійкості до гідродинамічних навантажень, що в першому випадку призводить до руйнування паводковим потоком захисного покриття, а в другому випадку до невиправдано великих будівельних витрат.

Для вибору ефективних проектних рішень захисних протиаводкових покриттів русел гірських річок та розрахунку їх параметрів розроблено та запропоновано методику, в основу якої покладено два критерії: технічна надійність та економічна ефективність використання захисних покриттів.

Технічна надійність захисних покриттів оцінюється їх стійкістю до розмиву паводковим потоком та стійкістю до зрушення з ґрунтової основи русла річки силою гідродинамічного тиску. Стійкість захисних покриттів забезпечується використанням на стадії проектування запропонованої методики розрахунку їх конструктивних параметрів з урахуванням гідрологічних параметрів річки та морфометричних параметрів її русла.

Економічна ефективність захисних покриттів забезпечується запропонованою процедурою послідовного перебору та аналізу альтернативних варіантів захисних покриттів, починаючи з найбільш дешевого варіанту за показником будівельних та експлуатаційних витрат.

### Бібліографія

1. Петроченко В.І. Методика визначення оптимальних розрахункових величин забезпеченості паводків на стадії проектування протиаводкових систем // *Меліорація і водне господарство*. 2017, №105. С. 99-106.
2. *Справочник по гидравлике под редакцией Большакова В.А.* – Киев : «Вища школа», 1977. 280 с.
3. Богомолов А.И., Михайлов К.А. *Гидравлика*. Москва : Стройиздат, 1972. 648 с.
4. Константинов Ю.М., Гіжа О.О. *Технічна механіка рідини і газу: Підручник*. Київ : Вища школа, 2002. 277 с.
5. *Берегоукріплювальне покриття* / В.І. Петроченко, О.В. Петроченко : пат. 33748 Україна: № u200802684; Заявлено 29.02.2008; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
6. *Покриття берегів водних об'єктів* / В.І. Петроченко, А.М. Шевченко, Д.П. Савчук, О.В. Петроченко : пат. 86676 Україна: № u201307671; Заявлено 17.06.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1.

### References

1. Petrochenko, V.I. (2017). *Metodyka vyznachennya optymalnykh rozrakhunkovykh velychyn zabezpechenosti pavodkiv na stadiyi proektuvannya protypavodkovykh system* [Methodology for

determining the optimal computed values of flood probability when designing flood control systems]. Kyiv: Melioraciya i vodne gospodarstvo, 105, 99-106. [in Ukrainian].

2. Bolshakov, V.A. (Ed.) (1977). Spravochnik po gidravlike [Handbook for Hydraulics]. Kyiv: Higher school. [in Russian].

3. Bogomolov A.I., & Mikhailov, K. A. (1972). Gidravlika [Hydraulics]. Moscow: Stroyizdat. [in Russian].

4. Konstantinov, Yu.M., & Gizha, O.O. (2002) *Texnichna mexanika ridyny i gazu. Pidruchnyk.* [Technical mechanics of liquid and gas]. Textbook. Kyiv: Higher school. [in Ukrainian].

5. Petrochenko, V.I., Petrochenko, O.V. (2008). *Beregoukriplyvalne pokryttya* [Coast-protecting facing]. Patent of Ukraine. № 33748. [in Ukrainian].

6. Petrochenko, V.I., Shevchenko, A.M., Savchuk, D.P., Petrochenko O.V. (2014) *Pokryttya beregiv vodnykh obyektiv* [Coating of bank water bodies]. Patent of Ukraine. № 86676. [in Ukrainian].

#### **В.И. Петроченко, А.В. Петроченко**

##### **Обоснование защитных противопаводковых покрытий русел горных рек**

*Разработана методика обоснования конструктивных решений и расчета параметров защитных противопаводковых покрытий русел горных рек. В основу методики положен критерий устойчивости защитных покрытий к размыванию и сдвигу паводковым потоком расчетной обеспеченности. Методика предлагается для практического применения на стадии разработки проектов систем противопаводковой защиты.*

#### **V. I. Petrochenko, O. V. Petrochenko**

##### **Substantiation of coverage of the canal of a mountain river for protection against flood**

*The technique of substantiation of constructive decisions and calculation of parameters of protective coatings on Mountain Rivers is developed. The basis of the technique is the criterion of the stability of protective coatings to erosion and displacement during the passage of flood calculated safety. The methodology is proposed for practical application at the design stage of flood control systems.*

DOI: 10.31073/mivg201801-107

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/107>

УДК 626.8: 303.732.4

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ

**О.О. Дехтяр, канд. тех. наук**

Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна; e-mail: oksana.dehtiar@gmail.com

***Анотація.** У статті проаналізовано використання методів системного аналізу при дослідженні тенденцій та проблем, що існують у секторі зрошення та дренажу України. Розкрито основні поняття та закономірності теорії систем та системного аналізу, що мають вирішальне значення для управління техніко-технологічними та соціально-економічними об'єктами господарювання в меліорації. Досліджено та проаналізовано основні чинники розвитку і специфіка існування меліоративних систем на сучасному етапі та встановлено основні закономірності їх функціонування. Нинішній етап розвитку меліоративного землеробства в Україні загострюється рядом глобальних геополітичних викликів та потребує науково обгрунтованого підходу до розробки і впровадження виважених заходів з нарощування потенціалу існуючих зрошувальних та дренажних систем. Застосування в дослідженнях системного аналізу дає змогу обгрунтувати необхідність комплексного підходу до використання механізмів, що забезпечують узгоджене існування всіх складових елементів меліоративної системи та встановити низку закономірностей їх функціонування. Встановлено, що радикальних змін потребує механізм управління водними ресурсами і меліорацією земель, удосконалення законодавчої і нормативно-методичної бази та створення умов для залучення інвестицій на відновлення і модернізацію інженерної інфраструктури для досягнення сталого розвитку аграрного сектора економіки України.*

***Ключові слова:** меліоративні системи, розвиток, функціонування, системний аналіз, закономірності*

**Актуальність.** Меліоративні системи є складними природно-техніко-технологічними об'єктами, які нерозривно пов'язані як із основними законами природи, так і з загальними законами розвитку технічних систем, діяльність яких можна описати за допомогою стохастичних процесів. Закони розвитку техніки визначають для окремих технічних систем об'єктивно існуючі зв'язки, особливості та тенденції розвитку для прогнозування процесів створення нових та покращення вже існуючих систем. Водночас недоліки попереднього етапу функціонування системи стають критеріями розвитку для наступного покоління з інноваційними техніко-технологічними рішеннями [1, 2].

В Україні через причини політичного, економічного та соціального характеру потенціал раніше побудованого потужного водогосподарського комплексу, що забезпечував зрошення на площі 2,65 млн. га, а осушення на площі 3,3 млн. га, використовується неефективно. Істотно скоротились площі зрошуваних земель: фактично поливається менше 500 тис. га, а двостороннє водорегулювання здійснювалось на площі близько 250 тис. га, що становить 20% наявних площ зрошення та менше 10% наявних площ дренажу [3-5].

Визначальним фактором є також глобальні кліматичні зміни, наслідки яких в Україні за останні роки все відчутніші і проявляються у зростанні температури повітря і збільшенні сухої та дуже сухої території.

Проведення меліоративних заходів сприяє зменшенню дефіциту природного вологозабезпечення та ефективному регулюванню вологості ґрунту у вегетаційний період для отримання заданого рівня врожайності сільськогосподарських культур у нових кліматичних умовах.

Складність, масштабність та різноманітність проблем, існуючих на сьогодні у водогосподарській галузі, зокрема у секторі зрошення та дренажу, потребує широкого використання методів системного аналізу при проведенні досліджень та визначенні шляхів і напрямків розв'язання цих проблем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінюванню різних аспектів функціонування меліоративних систем з використанням методів системного аналізу присвячено багато наукових досліджень [1, 2, 6-13]. Визначаючи вагомість наявних розробок слід відзначити, що на сьогодні ці методи недостатньо використовуються в меліорації через складність та суперечливість питань, що потребують відпо-

відей, часто виокремивши одну з проблем і не охоплюючи всього комплексу. Слід зазначити, що різні науковці, представники водогосподарських організацій, органів місцевого самоврядування, сільгоспвиробники неоднозначно та суб'єктивно трактують мету, цілі та шляхи сталого розвитку меліоративного землеробства. Тому, у зв'язку з необхідністю адаптації аграрної галузі економіки України до сучасних умов ринкового та природного середовища існує потреба в науково-методичних системних підходах для всебічної оцінки потенціалу меліоративної галузі з визначенням основних закономірностей функціонування та стратегічних напрямків сталого розвитку.

**Мета досліджень** – аналіз тенденцій сучасного етапу функціонування зрошувальних та дренажних систем України з використанням методів системного аналізу і встановлення основних закономірностей функціонування меліоративних систем.

**Викладення основного матеріалу.** Для ефективного управління складними і різноманітними процесами функціонування меліоративних систем потрібен спеціалізований методологічний підхід. Системний аналіз і є саме такою сукупністю методів, які допомагають чітко поставити цілі, вірно сформулювати завдання і правильно його виконати. При проектуванні, будівництві та експлуатації меліоративних систем виникають ситуації, які характеризуються невизначеністю, наявністю факторів, що нерідко призводять до нераціонального використання земельних, водних, фінансових, трудових ресурсів, неузгодженості в роботі окремих елементів системи землевласник – водокористувач – водогосподарські організації – природні ресурси.

Системний аналіз дозволяє домогтися сумарної ефективності функціонування системи, не допускаючи щоб приватні цілі і інтереси підсистем знижували загальний результат, особливо у випадках, коли цілі окремих підсистем часто суперечливі або навіть взаємовиключні. Оптимальні рішення для окремої підсистеми не завжди є оптимальними для системи загалом.

Згідно з основними положеннями системного аналізу [1, 2, 6-8, 11, 13] меліоративна система може розглядатися як багатокомпонентна. Її загальний стан та кожного з об'єктів залежить від багатьох факторів, які змінюються з часом. Середовище, у якому знаходиться меліоративна система, це сукупність усіх об'єктів, зміна властивостей яких впливає на систему, та об'єкти, чий власти-

вості змінюються в результаті діяльності системи. Для меліоративних систем поряд із природним середовищем існує створене людиною технічне середовище, яке містить у собі гідротехнічні споруди, насосно-силове обладнання, дощувальну техніку тощо, а також економічне, політичне, інформаційне та соціальне середовища.

Вивчення закономірностей функціонування зрошувальних та дренажних систем на сучасному етапі розвитку дозволяє уточнити та покращити уявлення про досліджувану систему, уявити загальну поточну ситуацію, стан системи, визначити процеси, які там протікають та розробити шляхи та механізми подальшого її удосконалення.

Головний критерій розвитку меліоративної системи – ефективність її діяльності, тобто сукупність впливу системи в цілому та її підсистем на кількість і якість отриманої сільськогосподарської продукції, враховуючи використані одночасно природні, енергетичні, фінансові та трудові ресурси. Тобто меліоративна система включає в себе не тільки процеси водоподачі, водовідведення, транспортування води до поля, а й підсистеми прийому, обробки інформації на вході та виході, а також підсистеми прийняття рішень, планування діяльності і подальшого розвитку [6, 11].

Для забезпечення сталого розвитку меліоративної системи важливим є узгодженість у роботі всіх підсистем та їх елементів задля досягнення синергізму – одночасного функціонування окремих, але взаємопов'язаних елементів та частин, що забезпечать більш високу загальну ефективність ніж сумарна ефективність окремих частин, що працюють самостійно. Так впровадження нових технологій вирощування сільськогосподарських культур, високопродуктивних сортів та гібридів, науково обґрунтованих сівозмін, покращення екологічного стану водних об'єктів та ґрунтів, технічного стану каналів, модернізація насосно-силового обладнання, внесення змін до діючого законодавства, розробка концепцій та стратегій розвитку, створення організацій водокористувачів, реформування системи управління галуззю – все це матиме значно більший ефект при впровадженні складових разом, ніж від використання елементів окремо. Слід визнати, що при виокремленні із загальної сукупності найбільш значимих компонентів можна сформулювати функціонально результативну сукупність для виконання пріоритетних завдань.

У загальному вигляді існують такі основні закономірності функціонування систем,



що характеризують принципові особливості побудови, функціонування та розвитку складних систем [1, 2, 6, 7, 11,12]:

- розвитку (історичність, самоорганізація);
- взаємодії частини і цілого (цілісність, прогресуюча систематизація, прогресуюча факторизація, адитивність);

- ієрархічної впорядкованості (комунікативність, ієрархічність);
- здійсненності (закон необхідного різноманіття, еквіфінальність, потенційна здійсненність) (рис. 1).

В умовах існуючих глобальних викликів та загроз важливо адаптувати ці основні закономірності до сучасних реалій сьогодення.

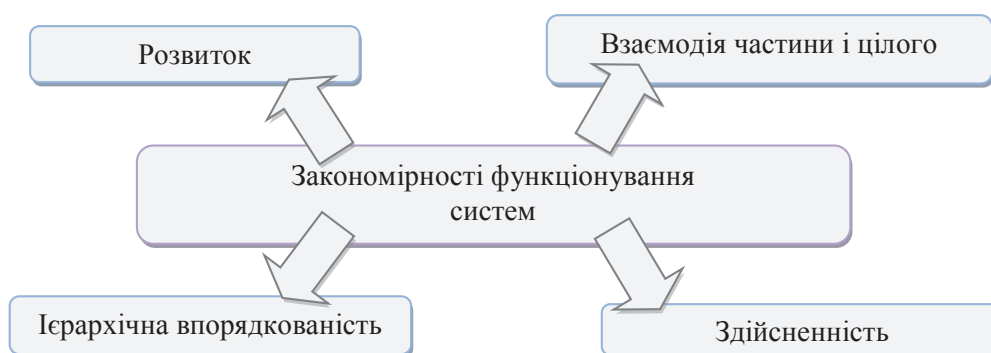


Рис. 1. Основні закономірності функціонування систем

#### Закономірності розвитку. Історичність.

Кожна система проходить етапи зародження, становлення, удосконалення та занепаду. Цю закономірність можна враховувати не тільки пасивно фіксуючи стан функціонування, а й використовувати для попередження руйнування та при розробці механізмів та способів реконструкції, модернізації меліоративних систем, для їх розвитку у новій якості.

В Україні розквіт та становлення меліоративних систем припадає на минуле століття, коли проектувались та будувались великі меліоративні системи: Каховська, Інгулецька, Краснознаменська, Північно-Рогачицька, Сірогозька, зрошувальні системи Північно-Кримського каналу, Ірпінська, Трубізька, Остерська, Замисловицька, Березівська осушувально-зволожувальні системи та інші. Останнім часом на фоні глобальних змін клімату та загальної економічної кризи функціонування цих систем здійснюється неналежним чином. Це призвело до занепаду підсистем та елементів меліоративної системи, виникнення кризової ситуації, головними чинниками якої є:

- значне погіршення технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури;
- зменшення кількості дощувального обладнання та відсутність коштів у водокористувачів на оновлення та поповнення парку дощувальних машин;
- порушення технологічної цілісності меліоративного землеробства;
- недосконалість існуючого законодавства;

- невідповідність існуючої системи управління новим ринковим умовам господарювання;

- різке зростання вартості електроенергії для подачі води на зрошення;
- відсутність бюджетного фінансування та неможливість залучення інвестицій на відновлення та модернізацію меліоративних систем.

Проте сьогодні, коли Уряд України взяв курс на здійснення реформ системи управління водогосподарською галуззю і в результаті будуть створені умови для залучення інвестицій для відновлення та модернізації меліоративних систем, збільшення площ зрошення, з'являються перспективи покращення функціонування і поступового переходу із стадії занепаду у стадію сталого розвитку.

**Самоорганізація** – це здатність системи самостійно підтримувати чи вдосконалювати рівень своєї організації при зміні зовнішніх або внутрішніх умов її існування, переходити на новий ступінь розвитку, здійснювати діяльність з урахуванням минулого досвіду [6, 8, 11]. Самоорганізація системи здійснюється в результаті взаємодії випадковості й необхідності та пов'язана з переходом від нестійкості («біфуркації») до стабільності, стійкого стану («аттрактора»). Стан стабільності є обов'язковою умовою існування й функціонування системи, перехід до нової системи та її розвиток є неможливим без виведення системи із стійкого стану [10, 12].

Неефективний стан функціонування меліоративних систем сьогодні – це черговий етап самоорганізації, коли управління, ресурси, власність перерозподіляються, змінюються взаємовідносини. Рушійними силами цього процесу є наростаючі суперечності між відсутністю фінансових можливостей і нездатністю сільгоспвиробників відновлювати зрошення на належному рівні та неможливістю отримання високих та стабільних врожаїв без поливів, особливо у південних регіонах України.

Сучасна криза є насамперед інституційною, оскільки система управління водогосподарською галуззю, створена ще за часів індустріальної економічної системи, перебуває у кризовому стані, не відповідає сьогоденню та не адаптована до можливостей ринкової економіки. Похідними самоорганізації є управлінські та організаційні відносини. Система не може ефективно реалізуватися та функціонувати без самоорганізації у сферах політики та державного управління, тому що зміни до існуючого законодавства, нові закони, що забезпечують інституціональне середовище для розвитку меліорації, створюються саме на урядовому рівні.

Проведення реформування системи управління дасть змогу підвищити ефективність функціонування, упорядкувати взаємозв'язки між її елементами та підсистемами за рахунок не тільки залучення додаткових фінансових ресурсів на відновлення та модернізацію зрошувальних та дренажних систем, а і за рахунок власного розвитку, впроваджуючи інноваційні технології дозволить розкрити її внутрішній потенціал та перейти на самокупність.

**Закономірності взаємодії частини і цілого.** Цілісність – закономірність, що виявляється в системі у вигляді появи у неї нових властивостей, що відсутні у окремих її елементів [6, 7]. Закономірність цілісності, з одного боку, не є простою сумою властивостей складових її елементів; з іншого – властивості цілої системи ( $Q_s$ ) залежать від властивостей складових її частин ( $q_i$ ). До того ж, об'єднані в систему елементи, як зазвичай, втрачають частину своїх властивостей, які мають поза системою, тобто система як би погіршує їх; але, з іншого боку, елементи, потрапивши у систему, можуть придбати нові властивості, що сприятимуть удосконаленню існуючої системи [7, 10].

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i \quad (1)$$

$$Q_s = f(q_i) \quad (2)$$

Загалом меліоративну систему неможливо вивчити, досліджуючи лише складові частини і не враховуючи взаємодії між ними, не розглядаючи як сукупність взаємопов'язаних елементів: зміни клімату, стан ґрунтів, водні та енергетичні ресурси, сівозміни, техніко-технологічні складові, інституційні, правові, управлінські рішення, інформаційне забезпечення та ін. Так заміна насосно-силового обладнання, відновлення протифільтраційного облицювання зрошувальних каналів, використання енергозберігаючих технологій, зміна структури сівозмін, зрошувальних норм, поява нових суб'єктів господарювання, зміни в управлінні можуть суттєво вплинути на якість функціонування всієї меліоративної системи. Оптимізація режимів окремих технологічних процесів без врахування їх взаємодії з іншими процесами може призвести до неефективного розвитку системи загалом.

Використання сучасного високопродуктивного та енергоощадного дощувального обладнання дозволяє отримати такі показники якості як точність видачі поливної норми, якість і рівномірність подачі води на зрошення, оптимальну для даних ґрунтових умов інтенсивність дощу з врахуванням фізіологічної потреби рослин у воді, що сприяє покращеному регулюванню вологості ґрунту та збільшенню виходу сільгосппродукції.

Унаслідок неефективних рішень, прийнятих Урядом після розпаду Радянського Союзу, зруйнувалась цілісність всього меліоративного комплексу, спричинена розпаюванням земель, подрібненням розмірів земельних ділянок та збільшенням кількості землекористувачів, що призвело до погіршення технічного стану елементів меліоративної мережі, а в багатьох випадках до їх руйнування та знищення. Саме ефективне реформування орієнтоване на інноваційне управління водогосподарською галуззю має забезпечити появу у меліоративних систем нових властивостей. Послідовна реалізація цих процесів дозволить накопичити критичну масу прогресивних перетворень для якісного зростання ефективності водоподачі, водорозподілу та водовідведення, та досягнення сталого функціонування всієї меліоративної системи.

**Прогресуюча факторизація (ізоляція) і прогресуюча систематизація.** Ці закономірності ввів американський вчений А. Холл [8]. **Прогресуюча факторизація** це прагнення системи до стану з усе більш незалеж-

ними елементами. Розрізняють два види цієї закономірності:

- розпад системи на незалежні частини з втратою загальносистемних властивостей.

- зміни в напрямку зростаючого поділу на підсистеми зі збільшенням їх самостійності або в напрямку зростаючої диференціації функцій, що характерно для систем, які еволюціонують та розвиваються.

**Прогресуюча систематизація** це прагнення системи до більшої цілісності, посилення існуючих раніше зв'язків між частинами системи, появи та розвитку нових зв'язків між раніше не пов'язаними між собою елементами або підсистемами, додавання у систему нових елементів. У меліоративних системах це, наприклад, виникнення нових відносин між сільгоспвиробниками, структуруванні споживачів води в об'єднання – організації водокористувачів для управління, експлуатації та технічного обслуговування внутрішньогосподарської мережі; утворення великих агропромислових підприємств, розробка та внесення змін до законів для створення ефективної законодавчої бази для імплементації нових управлінських структур та визначення їх функцій, зміна політики відносно інвестицій у водне господарство, необхідних для розвитку зрошуваного землеробства, поява сучасних інформаційних технологій.

**Закономірності ієрархічної впорядкованості систем** характеризує взаємодію системи з її оточенням – з навколишнім середовищем, надсистемою та підлеглими їй підсистемами [6, 12]. Більш високий ієрархічний рівень об'єднує елементи нижчого рівня і впливає на їх функціонування. У результаті нижчі члени ієрархії набувають нових властивостей, відсутніх у них при ізольованому стані. Меліоративна система – це складова великої природно – техногенної системи, яка входить у якість підсистеми у водогосподарську, сільськогосподарську, економічну, соціальну системи країни.

**Гетерархія.** На відміну від ієрархії, що припускає відносини залежності, гетерархія (запропонована Д. Старком) [12, 15, 16] передбачає не вертикально підпорядковані зв'язки між елементами системи, а горизонтальний поділ системних функцій між цими елементами. Водночас кожна підсистема залучається до пошуку інноваційних рішень, а система загалом є більш гнучкою до адаптації в умовах нестабільності зовнішнього середовища. Отже, гетерархія – відповідь на виклики, породжені сучасним підвищенням

невизначеності, пов'язаним із стрімкою зміною технологічних процесів, політичною нестабільністю в нашій країні.

Тобто, якщо ієрархія включає стосунки залежності, а ринок має на увазі незалежність, гетерархія передбачає стосунки взаємозалежності, і саме впровадження гетерархії має на меті удосконалення інституційного механізму налагодження ефективності функціонування меліоративної системи з урахуванням потреб та узгодженням інтересів всіх зацікавлених сторін. Важливим є консолідація зусиль державних органів влади, водогосподарських, експлуатаційних організацій, сільгоспвиробників, всіх зацікавлених сторін для координації дій в рамках реалізації сумісних зусиль та заходів з підтримки сектора зрошення та дренажу. При цьому першочергове значення має створення правових та організаційних умов, проведення структурних перетворень та реформування системи управління галуззю. Недосконалість законодавства у сфері меліорації земель, у питаннях земельних відносин, податковій, тарифній, соціальній сферах створює нездоланні бар'єри для успішного вирішення комплексу екологічних, економічних та соціальних проблем.

**Комунікативність.** Меліоративна система не ізольована від інших систем, вона пов'язана безліччю комунікацій з навколишнім природним середовищем, інформаційними, управлінськими підсистемами, містить надсистеми більш високого порядку – агропромисловий комплекс, водогосподарську галузь та ін., що задає вимоги і обмеження даній системі, елементам або підсистемам, системам одного рівня з даною. Ця закономірність проявляється між рівнями ієрархії системи і в результаті кожен рівень ієрархічної впорядкованості має складні взаємини з вищим і нижнім рівнями

**Закономірності здійсненності систем.** **Еквіфінальність** характеризує ніби граничні можливості системи, здатність на відміну від стану рівноваги в закритих системах досягати рівня, котрий залежить від часу конкретного стану та не залежить від початкових умов і визначається виключно параметрами системи [6, 12]. Ця закономірність змушує визначити граничні можливості створюваних організаційних систем управління галузями, регіонами, державою.

**Закон «необхідної різноманітності»** сформулював У.Р. Ешбі. [12, 13]. Створюючи систему, здатну впоратися з вирішенням проблеми, яка має певну різноманітність, потрібно забезпечити щоб система мала ще

більшу різноманітність методів вирішення, ніж різноманітність вирішуваної проблеми, тобто володіла б методологією, могла запропонувати нові методи вирішення проблеми. Отже, різноманітність системи управління повинна бути більше різноманітності об'єкта управління. Використання цього закону при розробці та вдосконаленні систем управління допомагає виявити причини недоліків, які з'являються в системі, та знайти шляхи підвищення ефективності управління.

**Закономірність потенційної ефективності.** Флейшман Б.С. пов'язав складність структури системи зі складністю її поведінки; запропонував кількісні вирази граничних законів надійності, стійкості, керованості та інших якостей систем, які визначаються як ймовірність досягнення мети при обмежених ресурсах (часу, енергії і т.), та показав, що на їх основі можна отримати кількісні оцінки здійсненності систем з точки зору тієї чи іншої якісної характеристики – граничні оцінки життєздатності і потенційної ефективності складних систем [14].

Закономірності функціонування меліоративних систем визначають загальну ситуацію розвитку та пов'язують в єдине ціле фактори проявів конкретних процесів, що проходять у системі залежно від природних умов навколишнього середовища, існуючих проблем та загальної ситуації, що складається в конкретному регіоні і в країні загалом.

Отже, використання системного підходу щодо вивчення поточної ситуації функціонування сектора зрошення та дренажу в умовах змін клімату та господарювання, оцінки техніко-технологічного стану інженерної інфраструктури меліоративних систем, існуючої системи управління та державної політики в галузі меліорації дозволило встановити такі закономірності функціонування меліоративних систем України:

- глобальні кліматичні зміни, які спричинили зростання посушливості клімату, зумовили необхідність поширення зони застосування систем зрошення на північ країни і

таким чином в гумідній зоні для ефективного регулювання водного режиму доцільно використовувати системи з можливістю додаткового зволоження;

- висока енергоємність процесів водоподачі та водорозподілу в умовах постійного підвищення тарифів на електроенергію разом з надмірними втратами води при транспортуванні обумовлюють підвищення вартості води для кінцевого споживача, що впливає на собівартість сільськогосподарської продукції та стримує сталий розвиток сектора зрошення в Україні;

- підвищення ступеня використання наявного потенціалу зрошувальних та осушувальних систем потребує розширення площ зрошення та водорегулювання, що можливо лише за формування відповідної державної політики, проведення інституційної реформи системи управління водними ресурсами, удосконалення законодавчої бази шляхом внесення змін та доповнень до існуючого законодавства та розроблення нових законодавчих актів і зрештою, створення сприятливих умов для залучення інвестицій у розвиток водогосподарсько-меліоративного комплексу.

**Висновки.** Нинішній етап розвитку меліоративного землеробства в Україні загострюється через глобальні виклики та потребує науково обґрунтованого підходу до розробки і впровадження виважених заходів з нарощування потенціалу існуючих зрошувальних та дренажних систем. Застосування в дослідженнях системного аналізу дає змогу забезпечити узгоджене існування всіх складових елементів меліоративної системи та встановити ряд закономірностей їх функціонування для подальшого розвитку.

Радикальних змін потребує механізм управління водними ресурсами, удосконалення законодавчої і нормативно-методичної бази та створення умов для залучення інвестицій на відновлення і модернізацію інженерної інфраструктури для досягнення сталого розвитку аграрного сектора економіки України.

### Бібліографія

1. Штепа Б.Г. Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве. Ленинград: Гидрометиздат. 1983. 261 с.
2. Рекс Л.М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. Москва: Аслан. 1995. 192 с.
3. Концепція відновлення та розвитку зрошення у південному регіоні України Ромащенко М.І. Київ: ЦП Компрінт, 2014. 28 с.
4. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія / Балюк С.А. та ін. Херсон: Грінь Д. 2015. 668 с.

5. Romashchenko M., Dekhtiar O. (2016). *Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects*. // *Water management in a changing World: Role of Irrigation in Sustainable Food Production: 2nd World Irrigation Forum*. Chiang Mai, Thailand. W.1.3.01. 11 p.
6. Берталанфи Л. фон. *Общая теория систем – Критический обзор*. Москва: Прогрес. 1969. 28 с.
7. Рузавин Г. И. *Методология научного исследования*. Москва: Мысль, 1999. 282 с.
8. Холл А. *Опыт методологии для системотехники*. Москва: Сов. радио, 1975.
9. Шкодіна І.В. *Сучасні тенденції самоорганізації світової економічної системи*. 2012. URL: [file:///C:/Users/user/Downloads/EkUk\\_2012\\_9\\_8.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/EkUk_2012_9_8.pdf)
10. Афанасьев В. Г. *Проблема цілісності у філософії та біології*. Москва: Думка. 1984.
11. Волкова В. Н. *Теория систем и системный анализ в управлении организациями*. Москва: Финансы и статистика. 2012. 848 с.
12. Блюмин А.М. *Теория системы системный анализ*. URL: [knigainformatika.narod.ru/disciplins/teoria...SA.doc](http://knigainformatika.narod.ru/disciplins/teoria...SA.doc). – 86 с.
13. Динкевич А. *Закономерности экономического развития (проблемы методологии)* // *Экономист*. 2001. №11. С. 71–80.
14. Флейшман Б. С. *Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем*. Москва. Смоленск. 2008.
15. Чернышев М. К., Гаджиев М. К. *Математическое моделирование иерархических систем*. Москва. Наука. 1983.
16. Stark D. *Ambiguous Assets for Uncertain Environments: Heterarchy in Postsocialist Firms*. URL: <https://ecsoc.hse.ru/en/2001-2-2/26593183.html>.

#### References

1. Shtepa, B.G. (1983). *Metody systemnoho analyza v melioratsyy y vodnom khoziaistve [Methods of system analysis in land reclamation and water management]*. Lenynhrad: Hydrometizat. [in Russian].
2. Reks, L.M. (1995). *Sistemnyye issledovaniya meliorativnykh protsessov i system [System research of meliorative processes and systems]*. Moskva. [in Russian].
3. Romashchenko, M.I. (2014). *Kontseptsii vidnovlennia ta rozvytku zroshennia u pivdennomu rehioni Ukrainy [Concept of Irrigation Recovery and Development in the Southern Region of Ukraine]* Kyiv. [in Ukrainian]
4. Baliuk, S., Truskavetskyi, R.S., Romashchenko, M.I. (2015). *Melioratsiia hruntiv [Soil melioration] Kherson*. [in Ukrainian].
5. Romashchenko, M.I., Dekhtiar O.O. (2016). *Irrigation Reform in Ukraine: Organizational and Legal Aspects*. // *Water management in a changing World: Role of Irrigation in Sustainable Food Production: 2nd World Irrigation Forum*. Chiang Mai, Thailand, W.1.3.01. 11r.
6. Bertalanfy, L. fon. (1969). *Obshchaia teoriya system – Krytycheskyi obzor. [General System Theory – A Critical Review]*. Moskva: Prohres. [in Russian].
7. Ruzavyn, H. Y. (1999). *Metodolohiia nauchnoho yssledovaniya. [Methodology of scientific research]*. Moskva: Musl. [in Russian].
8. Khol, A. (1975). *Opyt metodologii dlya sistemotekhniki [Experience in methodology for system engineering]*. Moskva: Sov. Radio. [in Russian].
9. Shkodina, I.V. (2012). *Suchasni tendentsii samoorganizatsii svitovoï ekonomichnoi sistemi. [Modern tendencies of self-organization of the world economic system]* Retrieved from [file:///C:/Users/user/Downloads/EkUk\\_2012\\_9\\_8.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/EkUk_2012_9_8.pdf). [in Russian].
10. Afanasev, V. G. (1984). *Problema tsilisnosti v filosofii ta biologii [The problem of integrity in philosophy and biology]*. Moskva: Dumka. [in Russian].
11. Volkova, V. N. (2012). *Teoriya sistem i sistemnyy analiz v upravlenii organizatsiyami. Spravochnik [Theory of Systems and System Analysis in the Management of Organizations. Handbook]* Moskva: Finansy i statistika. [in Russian].
12. Blyumin, A.M. *Teoriya sistemi sistemnyy analiz. (2006). [System theory system analysis]*. Retrieved from [knigainformatika.narod.ru/disciplins/teoria](http://knigainformatika.narod.ru/disciplins/teoria). SA.doc. [in Russian].
13. Dinkevich, A. *Zakonomernosti ekonomicheskogo razvitiya (problemy metodologii) [The laws of economic development (problems of methodology)]* Moskva: Ekonomist. 2001, 11. [in Russian].

14. Gryaznova, A. G., Dumnoy, N. N., Yudanova, A. Yu. (2005). *Ekonomicheskaya teoriya. Ekspress-kurs: ucheb. posob.* [Economic theory. Express course: study. way]. Moskva: KNORUS. [in Russian].
15. Fleyshman, B. S. (2008). *Elementy teorii potentsialnoy effektivnosti slozhnykh sistem.* [Elements of the theory of potential efficiency of complex systems]. Moskva. Smolensk. [in Russian].
16. Chernyshev, M. K., Gadzhiyev, M. K. (1983). *Matematicheskoye modelirovaniye iyerarkhicheskikh sistem.* [Mathematical modeling of hierarchical systems]. Moskva: Nauka. [in Russian].
17. Stark, D. *Ambiguous Assets for Uncertain Environments: Heterarchy in Postsocialist Firms.* [Ambiguous Assets for Uncertain Environments: Heterarchy in Postsocialist Firms]. Retrieved from: <https://ecsoc.hse.ru/en/2001-2-2/26593183.html>.

**Дехтяр О.А.**

**Системный подход к оценке функционирования мелиоративных систем Украины**

*В статье проанализировано использование методов системного анализа при исследовании тенденций и проблем, существующих в секторе орошения и дренажа Украины. Раскрыты основные понятия и закономерности теории систем и системного анализа, имеющих определяющее значение для управления технико-технологическими и социально-экономическими объектами хозяйствования в мелиорации. Исследованы и проанализированы основные факторы развития и специфика существования мелиоративных систем на современном этапе и установлены основные закономерности их функционирования. Нынешний этап развития мелиоративного земледелия в Украине обостряется рядом глобальных геополитических вызовов и требует научно-обоснованного подхода к разработке и внедрению взвешенных мер по наращиванию потенциала существующих оросительных и дренажных систем. Применение в исследованиях системного анализа позволяет обосновать необходимость комплексного подхода к использованию механизмов, обеспечивающих согласованное существование всех составляющих элементов мелиоративной системы и установить ряд закономерностей их функционирования. Установлено, что радикальных изменений требует механизм управления водными ресурсами и мелиорацией земель, совершенствование законодательной и нормативно-методической базы и создание условий для привлечения инвестиций на восстановление и модернизацию инженерной инфраструктуры для достижения устойчивого развития аграрного сектора экономики Украины.*

**O. Dekhtiar**

**System approach to the estimation of the operation of Ukrainian reclamation systems**

*The article analyzes the use of methods of system analysis in studying the trends and problems that exist in the irrigation and drainage sector in Ukraine. The basic concepts and regularities of the theory of systems and system analysis, which are decisive for the management of techno-technological and socio-economic objects of management in land reclamation, are revealed. The main factors of development and specificity of the existence of reclamation systems at the present stage are investigated and analyzed and the main regularities of their functioning are established. The current stage in the development of land reclamation agriculture in Ukraine is exacerbated by a number of global geopolitical challenges and requires a scientifically sound approach to the development and implementation of prudent measures to build the capacity of existing irrigation and drainage systems. Application in system analysis studies makes it possible to substantiate the necessity of an integrated approach to the use of mechanisms that ensure the coherent existence of all components of the reclamation system and establish a number of patterns of their functioning. It has been established that radical changes require the mechanism of water resources management and land reclamation, improvement of the legislative and normative-methodological base and creation of conditions for attraction of investments for restoration and modernization of engineering infrastructure in order to achieve sustainable development of the agrarian sector of the Ukrainian economy.*

DOI: 10.31073/mivg201801-116

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/116>

УДК 666.96; 691.5; 961.333

## ВПЛИВ ВОДОЦЕМЕНТНОГО ВІДНОШЕННЯ ТА ПОЛІМЕРНОГО ЛАТЕКСУ НА РУХОМІСТЬ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНОЇ СУМІШІ ТА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНУ

О.В. Коваленко<sup>1</sup>, канд. техн. наук, О.Ю. Юзюк<sup>2</sup><sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: [aleksandr55kovalenko@gmail.com](mailto:aleksandr55kovalenko@gmail.com)<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: [sashayuziuk@gmail.com](mailto:sashayuziuk@gmail.com)

**Анотація.** Досліджено вплив водоцементного відношення та полімерного латексу на рухомість самоущільнювальних бетонних сумішей та на фізико-механічні властивості бетону на їх основі. Встановлено, що водоцементне відношення та полімерний латекс є важливими факторами формування реологічних та міцнісних властивостей полімерцементного самоущільнювального бетону.

**Ключові слова:** водоцементне відношення, полімерний латекс, самоущільнювальний бетон, фізико-механічні властивості, технологічні властивості

**Актуальність теми.** Гідротехнічні споруди (ГТС) водогосподарсько-меліоративного комплексу виконані, як зазвичай, із залізобетону, у процесі довготривалої експлуатації зазнають руйнувань і потребують проведення ремонтно-відновлювальних робіт (РВР) із застосуванням технології монолітного бетонування. Більша частина залізобетонних конструкцій ГТС важкодоступна для подачі бетонної суміші, насичена арматурою, закладними деталями, має складну конфігурацію. Це ускладнює подачу та розподілення бетонної суміші в конструкціях, перешкоджає її переміщенню та утруднює ущільнення вібраторами. До сумішей, які застосовуються при бетонуванні в таких умовах, пред'являються особливі вимоги з технологічності: вони повинні володіти високою рухомістю, самопливом заповнювати простір, що бетонується, та ущільнюватися без застосування вібрування. Під час проведення РВР такі суміші повинні повністю заповнювати крупні та дрібні каверни і порожнини, давати можливість проводити роботи із застосуванням як напірного, так і безнапірного способів бетонування. Застосування високорухомих бетонних сумішей (розплив конуса  $\geq 550$  мм) дозволить підвищити темпи бетонування з використанням високопродуктивного обладнання, скоротити енерго- та трудовитрати на укладання, підвищити якість укладання.

З іншого боку, проблемою є забезпечення високих фізико-механічних властивостей бетону, отриманого на основі високорухомих сумішей. Відомо, що до бетону, який призначений для ремонту залізобетонних конструкцій

гідротехнічних споруд, пред'являються підвищені вимоги щодо його фізико-механічних та експлуатаційних властивостей: висока міцність (40...60 МПа), водонепроникність (до W20), адгезійна міцність (2,0 МПа і вище), морозостійкість (до 600 циклів) [1]. Тільки за застосування такого бетону можна забезпечити високу експлуатаційну надійність та довговічність ГТС. Висока швидкість відновлення складних по конфігурації конструкцій ГТС при високій якості бетону та зниження трудовитрат є аргументом для розробки бетонів з підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями на основі високорухомих бетонних сумішей.

**Аналіз попередніх досліджень.** Досвід будівництва і експлуатації ГТС із застосуванням високорухомих бетонних сумішей виявив ряд їх недоліків [2,3]: низька морозостійкість, підвищена проникність для води, підвищена усадка, низька тріщиностійкість, сповільнене наростання міцності у ранньому віці, недостатня водоутримуюча здатність суміші, розшарування суміші. Основним фактором, який обумовлює ці недоліки, є високе водоцементне відношення (В/Ц) в бетонній суміші. Вирішенням проблеми може бути розробка технології самоущільнювального бетону (СУБ) [4], ключовим елементом якої є застосування органо-мінеральної добавки (ОМД) [5-7]. ОМД, як зазвичай, є комплексним модифікатором, що складається із суперпластифікатора (СП), який значно знижує В/Ц, та активної мінеральної добавки (мікрокремнезем, метакаолін), яка підвищує однорідність бетонної суміші. Технологія СУБ

особливо ефективна при застосуванні високоефективних полікарбоксилатних суперпластифікаторів та хімічно-активних кремнеземвміщуючих мінеральних добавок. Вона дозволяє вирішити компромісну задачу: досягти високих фізико-механічних властивостей бетону при високій рухомості бетонної суміші.

У роботах [8, 9] розглядається застосування органо-мінеральних добавок, які дозволяють управляти структурою та властивостями цементного каменю з метою повної реалізації потенційних можливостей цементного бетону. Введення в самоущільнювальну бетонну суміш (СУБС) СП в комплексі з метакаоліном (МТК) чи мікрокремнеземом (МК) дозволяє підвищити міцність на стиск і згин, морозостійкість та водонепроникність бетону [9]. Застосування технології СУБ дозволить збільшити довговічність матеріалу, збільшити термін експлуатації та експлуатаційну надійність ГТС.

Аналізуючи результати відомих досліджень, можна зробити висновок про позитивний вплив комплексного модифікатора «суперпластифікатор-активна мінеральна добавка» на властивості бетону. Водночас СУБ на основі відомих рецептур має і недоліки: недостатньо високі показники тріщиностійкості, адгезійної міцності та ударної міцності. Щоб усунути відмічені недоліки нами запропонована подальша модифікація СУБ полімерним латексом. Його роль у формуванні структури та властивостей СУБ при різних значеннях В/Ц вивчена недостатньо. Самоущільнювальний полімерцементний бетон (СПБ) є одним із перспективних композиційних матеріалів для ремонту та відновлення ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу.

**Метою роботи** є дослідження впливу В/Ц та добавок полімерного латексу на технологічні властивості СУБС та на фізико-механічні властивості СУБ.

**Методика досліджень.** У дослідженнях застосовували: портландцемент ПЦ І-500 виробництва ВАТ «Волинь-цемент», щебінь гранітний фр. 5-10 мм Коростеньського кар'єру, пісок річковий Дніпровський з модулем крупності  $M_{кр}=1,86$ , полікарбоксилатний суперпластифікатор марки Adium 150, мікрокремнезем «Elkem Microsilica» з насипною щільністю 280...350 кг/м<sup>3</sup>, полімерний латекс (ПЛ) на основі бутадієн-стирольного сополімеру марки Adiplast із сухим залишком 31,5%.

Бетонні суміші готували з використанням ручного електроміксера в три етапи: спочатку

перемішували сухі компоненти протягом 5 хв., потім готували рідку фазу шляхом перемішування води, СП і ПЛ протягом 5 хв., насамкінець суміш сухих компонентів перемішували з рідкою фазою протягом 5 хв.

Витрата компонентів контрольного складу бетону складала (кг на 1 м<sup>3</sup>):

Портландцемент – 450;  
Пісок кварцовий – 940;  
Щебінь гранітний – 940;  
Мікрокремнезем – 45;  
Суперпластифікатор – 7,2.  
Вода – 135.

Контрольний склад бетону взято згідно з «Європейським посібником з самоущільнювального бетону» [9], у якому відмічено особливості рецептури самоущільнювального бетону і, зокрема, що витрата щебеню не повинна перевищувати витрати піску.

Бетонні зразки формували методом наливу сумішей у відповідні форми.

Рухомість бетонних сумішей визначали за діаметром розливу конуса згідно ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Суміші бетонні. Методи випробувань; міцнісні показники бетону – згідно з ДСТУ БВ.2.7-214: 2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності – за контрольними зразками.

Бетонні зразки витримували в нормально-вологих умовах протягом 28 діб.

Міцність бетону на стиск визначали на зразках-кубах розміром 7,07x7,07x7,07 см, міцність на розтяг при згині – на зразках-балочках розміром 4x4x16 см, міцність на осьовий розтяг – на зразках-вісімках з поперечним перерізом середньої частини – 2,25x2,25 см, загальною довжиною зразка – 7,8 см, ударну міцність на зразках-циліндрах висотою 5 см та діаметром 2,5 см.

Результати досліджень. Досліджували вплив В/Ц на рухомість СУБС та на міцнісні характеристики СУБ у віці 28 діб. Результати досліджень наведено на рис. 1, 2.

Як видно з рис. 1, із зменшенням В/Ц від 0,40 до 0,30 рухомість СУБС знижується: РК зменшується від 790 до 540 мм (на 32%). Зменшення В/Ц позитивно впливає на міцнісні показники бетону (рис. 1, 2): міцність на стиск збільшується від 64,6 до 74,3 МПа (на 15%), міцність на згин – від 8,8 до 10,9 МПа (на 24%), міцність на розтяг – від 3,52 до 3,94 МПа (на 12%).

Характер впливу вмісту латексу в бетонній суміші на її рухомість залежить від величини В/Ц: при В/Ц=0,38-0,40 із збільшенням вмісту латексу від 0 до 3% РК суміші зростає від 745 до 800 мм (на 7%), а при подальшому збіль-



шенні від 6 до 9% РК знижується до 615 мм (на 23%). При В/Ц=0,35-0,33 латекс призво-

дить до зниження рухомості суміші при всіх значеннях його вмісту (рис. 3).

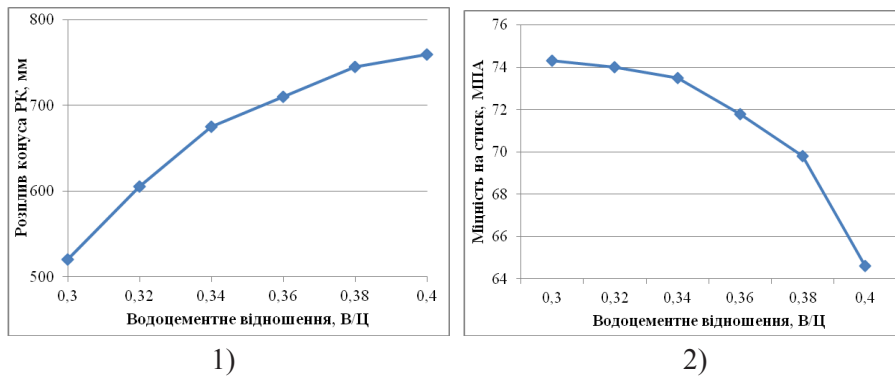


Рис. 1. Вплив В/Ц на рухомість СУБС (1) та на міцність на стиск СУБ (2)

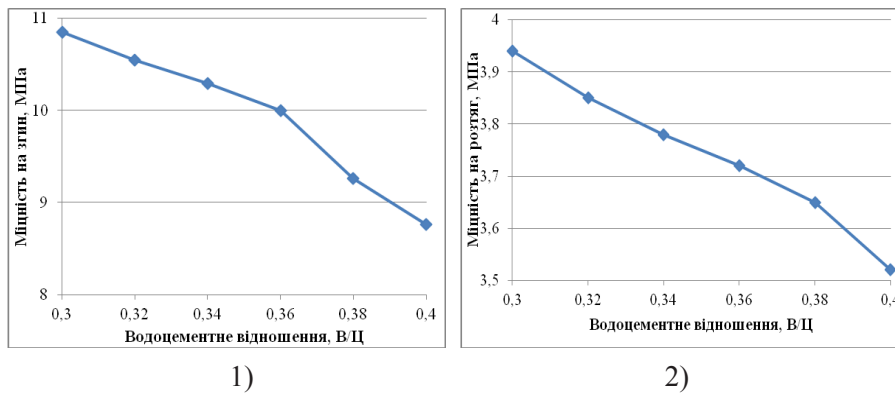


Рис. 2. Вплив В/Ц на міцність на згин (1) та на міцність на осьовий розтяг(2) СУБ

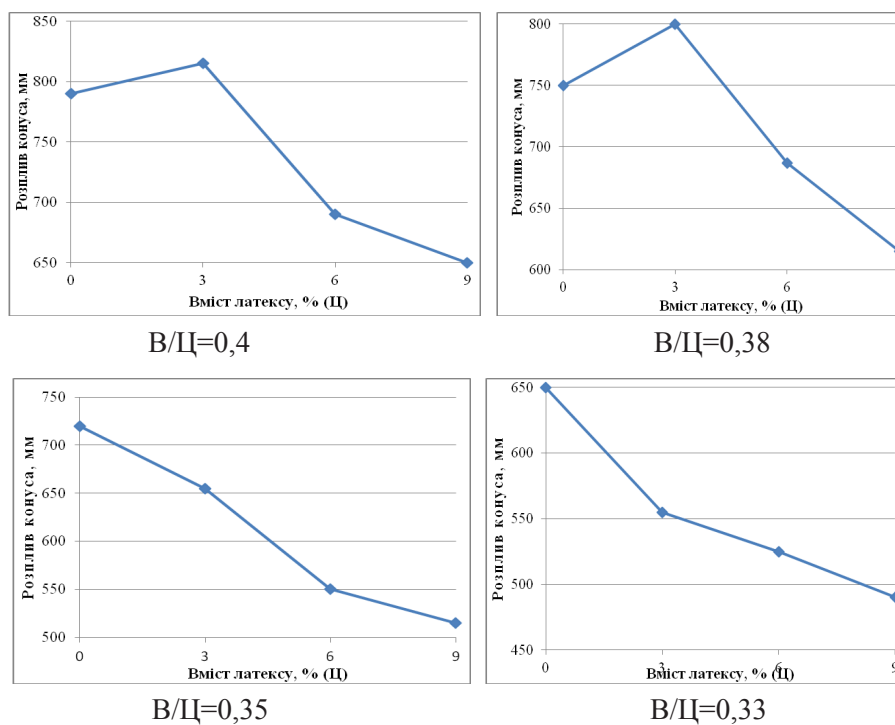


Рис. 3. Вплив латексу на рухомість СУБС

При введенні латексу в бетонну суміш міцність на стиск СУБ знижується незалежно від його вмісту та В/Ц (рис. 4).

Введення латексу в суміш у кількості 3%

приводить до зниження міцності на стиск СУБ на 15...20%, 6% – на 21...30%, 9% – на 39...42%. Вплив латексу на міцність на згин та на осьовий розтяг СУБ наведено на рис. 5, 6.

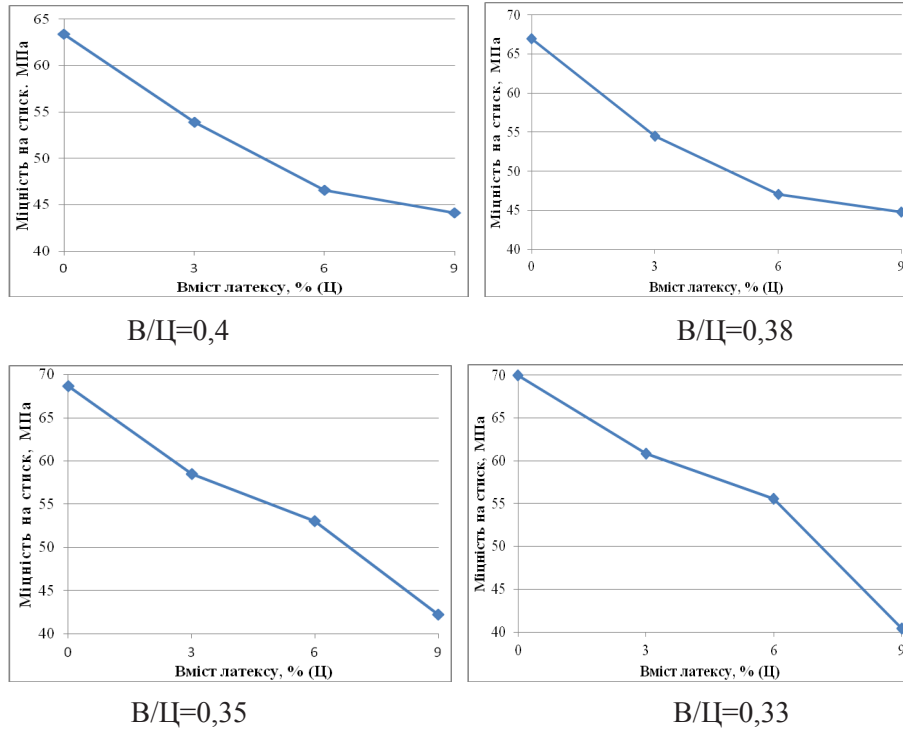


Рис. 4. Вплив латексу на міцність на стиск СУБ

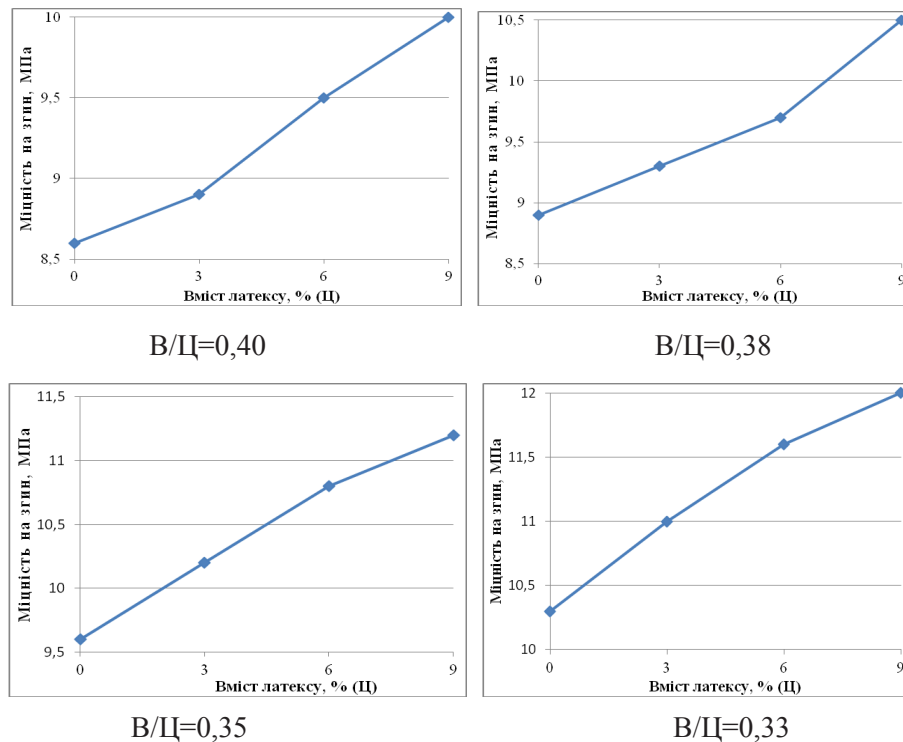


Рис. 5. Вплив латексу на міцність на згин СУБ

Як видно з рис. 5,6, латекс позитивно впливає на міцність на згин та на міцність на осьовий розтяг СУБ. При введенні латексу в бетонну суміш у кількості 3% від маси цементу міцність на згин збільшується на 4...7, 6% – на 9...11, 9% – на

11...15%. Міцність на розтяг при цьому збільшується на 12...14, 14...16 та 17...18% відповідно.

Введення латексу в бетонну суміш призводить до збільшення ударної міцності та тріщиностійкості СУБ (рис. 7).

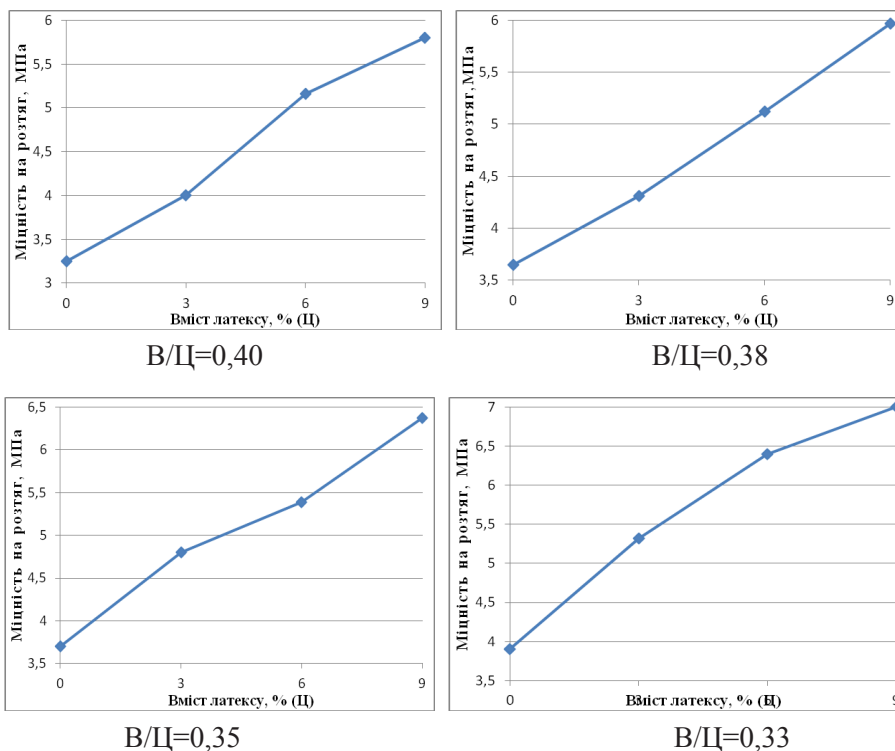


Рис. 6. Вплив латексу на міцність на розтяг СУБ

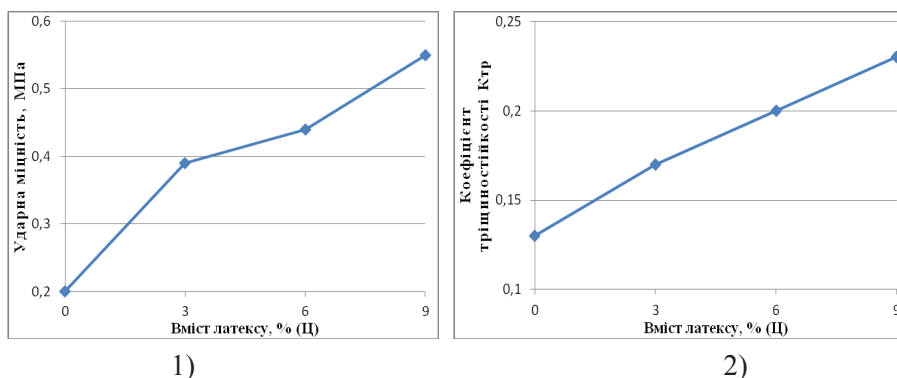


Рис. 7. Вплив латексу на ударну міцність (1) та на коефіцієнт тріщиностійкості (2) СУБ (В/Ц=0,35)

Як видно з рис. 7, введення латексу в бетонну суміш від 3 до 9% від маси цементу призводить до збільшення ударної міцності СУБ у 2,2...2,75 рази та до збільшення коефіцієнта тріщиностійкості у 1,3...1,8 рази.

Аналіз отриманих результатів показує, що при вмісті полімерного латексу в бетонній суміші 3...6% від маси цементу, В/Ц=0,35...0,38 та витраті цементу 450 кг/м<sup>3</sup>

самоущільнювальний полімерцементний бетон характеризується такими показниками технологічних та фізико-механічних властивостей:

- розплив конуса, мм – 550...800;
- міцність на стиск, МПа – 45...55;
- міцність на згин, МПа – 9,3...10,8;
- міцність на розтяг, МПа – 4,3...5,4;
- ударна міцність, МПа – 0,39...0,43;

· коефіцієнт тріщиностійкості – 0,17...0,2.

Наведені характеристики свідчать про те, що самоущільнювальний полімерцементний бетон відповідає вимогам, які пред'являються до самоущільнювальних бетонів для конструкційного ремонту залізобетонних гідротехнічних споруд.

**Висновки.** Водоцементне відношення та вміст полімерного латексу в бетонній суміші є важливим фактором формування структури та властивостей самоущільнювального бетону. При зниженні В/Ц від 0,4 до 0,3 розплив конуса бетонних сумішей зменшується від 790 до 540 мм, міцність на стиск бетону збільшується від 64,6 до 74,3 МПа,

міцність на згин – від 8,8 до 10,9 МПа, міцність на розтяг – від 3,52 до 3,94 МПа. Полімерний латекс позитивно впливає на міцність на згин, міцність на розтяг, ударну міцність та тріщиностійкість бетону. При введенні полімерного латексу в бетонну суміш у кількості від 3 до 9% від маси цементу (за сухим залишком) міцність бетону на згин зростає на 4...15%, міцність на розтяг – на 12...18%, ударна міцність – у 2,2...2,75 рази, коефіцієнт тріщиностійкості – у 1,3...1,8 рази. Введення латексу в бетонну суміш у кількості 3% призводить до зниження міцності на стиск бетону на 15...20%, 6% – на 21...30%, 9% – на 39...42%.

### Бібліографія

1. *Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity*, 2007. 19 p.
2. Костыря Г.З. *Технология бетона и бетонных работ при строительстве и ремонте железобетонных конструкций гидротехнических сооружений с применением высокопластичных бетонных смесей с добавками ПАВ и микронаполнителя: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: Санкт-Петербург, 2000. 253 с.*
3. Алексашин С.В., Булгаков Б.И., Попова М.Н. *Повышение эксплуатационных свойств пластифицированных гидротехнических мелкозернистых бетонов. Подбор оптимального состава // Известия Южного федерального университета, 2014. Вып. № 9. С. 195-201.*
4. Collepardi M. *Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC // New Technologies and Materials in Civil Engineering, Milan, 2003. P. 1-8.*
5. Szwabowski J., Golaszewski J. *Technologia betonu samozagęszczalnego. Krakow: Stowarzyszenie Producentow Cementu, 2010. 160 p.*
6. Каприелов С.С. и др. *Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон, 2003. №3. С. 2-7.*
7. *Сучасні бетони на основі комплексних модифікаторів нової генерації. Саницький М.А. та ін. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2011. Вип.29. С. 98–102.*
8. Кіракевич І.І. *Структуроутворення модифікованих цементних систем // Вісник НУ „Львівська політехніка”. „Теорія і практика будівництва”. Львів: 2009. № 655. С. 132-139.*
9. Гамалий Е.А., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. *Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2009. Вып.8. №16. С. 29-35.*
10. *The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.*

### References

1. *Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. (2007). 19, 1.*
2. Kostyrya, G.Z. (2000). *Tekhnolohiya betona y betonnykh rabot pry stroytelstve y remonte zhelezobetonnykh konstruksiyi hydrotekhnicheskyykh sooruzheniy s prymeneniyem vysokoplastychnyykh betonnykh smesei s dobavkamy PAV y mykronapolnytelia [Technology of concrete and concrete work in the construction and repair of reinforced concrete structures of hydraulic structures with the use of highly plastic concrete mixtures with the addition of surfactants and microfillers]. Sankt-Peterburh: avtoref. dys. na soyskanye uchenoi stepeny kand. tekhn. Nauk. [in Russian].*
3. Aleksashin, S.V., Bulgakov, B.I., Popova, M.N. (2014). *Povyshenye ekspluatatsyonnykh svoystv plastyfytirovannykh hydrotekhnicheskyykh melkozernnystrykh betonov. Podbor optymalnoho sostava [Improving the performance properties of plasticized hydraulic fine-grained concretes. Selection of the optimal composition]. Yzvestyia Yuzhnoho federalnoho unyversyteta, 9, 195-201. [in Russian].*

4. Collepardi, M. (2003). *Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC*. Milan: *New Technologies and Materials in Civil Engineering*, 1-8.
5. Szwabowski, J., Golaszewski, J. (2010). *Technologia betonu samozageszczalnego [Self-compacting concrete technology]*. Krakov: *Stowarzyszenie Producentow Cementu*.
6. Kapriellov, S.S., Karpenko, N.I., Sheinfeld, A.V., Kuznetsov, E.N. (2003) *Vlyaniye orhanomyneralnogo modyfykatora MB-50S na strukturu y deformatyvnost tsementnoho kamnia y vysokoprochnoho betona [Influence of organomineral modifier MB-50C on the structure and deformability of cement stone and high-strength concrete]*. *Beton y zhelezobeton*, 3, 2-7. [in Russian].
7. Sanytskyi, M.A., Poznyak, O.R., Kirakevych, I.I., Topylko, N.I. (2011). *Suchasni betony na osnovi kompleksnykh modyfykatoriv novoi heneratsii [Modern concrete on the basis of complex modifiers of the new generation]*. *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*, 29, 98–102. [in Ukrainian].
8. Kirakevich, I.I. (2009). *Strukturoutvorennia modyfikovanykh tsementnykh system [Structural formation of modified cement systems]*. Lviv: *Visnyk NU „Lvivska politekhnika”*. „Teoriia i praktyka budivnytstva”, 655, 132-139. [in Ukrainian].
9. Gamalii, E.A, Trofimov, B.Ya., Kramar, L.Ya. (2009). *Struktura y svoistva tsementnoho kamnia s dobavkamy mykrokremnezema y polykarboksylatnoho plastyfykatora [Structure and properties of cement stone with additives of micro-silica and polycarboxylate plasticizer]*. *Vestnyk YuUrHU. Seryia «Stroytelstvo y arkhytektura»*, 16, 29-35. [in Russian].

**А.В. Коваленко, А.Ю. Юзюк**

**Влияние водоцементного отношения и полимерного латекса**

**на подвижность самоуплотняющейся смеси и на прочностные характеристики бетона**

*Исследовано влияние водоцементного отношения и полимерного латекса на подвижность самоуплотняющихся бетонных смесей и на физико-механические свойства бетона на их основе. Установлено, что водоцементное отношение и полимерный латекс являются важными факторами формирования реологических и прочностных свойств полимерцементного самоуплотняющегося бетона.*

**A.V. Kovalenko, A.Y. Yuzyuk**

**The influence of the water-cement ratio and polymer latex**

**on the mobility of the self-compacting mixture and on the strength characteristics of concrete**

*The influence of water-cement ratio and polymer latex on the mobility of self-compacting concrete mixtures and on the physical and mechanical properties of concrete on their basis is studied. It is established that water-cement ratio and polymer latex are important factors in the formation of rheological and strength properties of polymer-cement self-compacting concrete.*

DOI: 10.31073/mivg201801-106

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/106>

УДК 626.8: 691.5

## ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ІНЖЕНЕРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ

О.О. Дехтяр<sup>1</sup>, канд. техн. наук, О.В. Коваленко<sup>2</sup>, канд. техн. наук, Н.Д. Брюзгіна<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: oksana.dehtiar@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: aleksandr55kovalenko@gmail.com

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації, Київ, Україна; e-mail: Natalya-51@i.ua

***Анотація.** У статті досліджено сучасний стан об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем. Проведено оцінювання технічного стану плит перекриття головної насосної станції Каховської зрошувальної системи, гідротехнічного тунелю № 1 та насосних станцій Інгулецької, Північно-Рогачицької зрошувальних систем, Ірпінської осушувально-зволожувальної системи та ряду інших об'єктів. Виконано систематизацію типових пошкоджень та дефектів бетонних та залізобетонних гідротехнічних споруд. Отримані дані стали основою для науково обгрунтованого вибору та розробки ефективних матеріалів та технологій для відновлення експлуатаційних властивостей та підвищення довговічності споруд меліоративних систем.*

***Ключові слова:** інженерна інфраструктура, залізобетонні гідротехнічні споруди, відновлення, композиційні матеріали, технічний стан*

**Актуальність.** Важливим фактором сталого функціонування меліоративних систем України є належний технічний стан об'єктів інженерної інфраструктури: насосних станцій, магістральних та розподільчих каналів, підпірно-регулюючих гідротехнічних споруд, колекторів, трубопроводів, водозаборів, гребель, дамб, водоймищ тощо. Надійна робота гідротехнічних споруд (ГТС) меліоративних систем забезпечується високими експлуатаційними властивостями і довговічністю їх елементів, стійкістю залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах різких температурно-вологісних змін, високомінералізованих водних ресурсів, корозійноактивних ґрунтів та інших негативних факторів зовнішнього середовища [1, 2, 3].

На жаль, потужності інфраструктури меліоративних систем, закладені ще при їх будівництві, сьогодні не використовуються належним чином. Через відсутність коштів на проведення ремонтно-відновлювальних робіт, належної експлуатації та обслуговування переважна більшість цих споруд перебуває в обмежено працездатному стані. Існуючі проблеми використання наявних потужностей гідротехнічних споруд, особливо внутрішньогосподарської мережі, призвели до значного зниження площ зрошення і водовідведення, а отже зменшення рівнів врожайності сільськогосподарських культур. Саме якісна, об'єктивна оцінка сучасного стану залізобе-

тонних конструкцій гідротехнічних споруд сприятиме прийняттю виважених, науково обгрунтованих рішень для їх відновлення та модернізації.

**Метою роботи** є дослідження залізобетонних конструкцій ГТС меліоративних систем, оцінка їх технічного стану та обгрунтування заходів з їх відновлення для підвищення експлуатаційної надійності.

**Методика досліджень.** Оцінювання сучасного стану об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем здійснювали на основі аналізу технічної документації, візуальної оцінки технічного стану конструкцій, елементів споруд, інструментального контролю властивостей матеріалів та оціночних розрахунків.

Для кожного об'єкта існує система критеріїв та індикаторів, які характеризують теперішній стан та дають змогу зробити висновки відносно відповідності проектним характеристикам, можливості безаварійного використання, допустимості та доцільності подальшої експлуатації. Визначення категорій технічного стану ГТС проводили у відповідності з вимогами ДСТУ Б В.2.7-220:2009, ДБН В.2.4-3:2010, ДБН В.1.2-14-2009, ДБН В.1.2-14-2008, ДБН В.2.4-1-99, СТО 4.2-5-2015, НПАОП 45.2-1.01-98 та інших нормативних документів з питань обстежень, паспортизації та надійної експлуатації виробничих будівель та споруд [4].

Згідно з вимогами нормативних документів технічний стан ГТС оцінювали відповідно з номенклатурою можливого технічного стану елементів та окремих конструкцій, що наведена в табл. 1. Прийнята методика візуального обстеження основана на оцінці технічного стану конструкцій за зовнішніми

ознаками, що виявлені у результаті технічного огляду. Фактичне значення параметрів, отриманих у результаті проведення візуального обстеження, порівнювали з кількісними та якісними критеріями, що встановлені в проектній, експлуатаційній та нормативній документації.

### 1. Види технічного стану залізобетонних конструкцій

№ п/п	Стан конструкції	Характеристика стану конструкції
1.	Нормальний	Конструкція або її елемент перебуває в працездатному стані. Відсутні дефекти та пошкодження, які заважають нормальній експлуатації або знижують несучу здатність або довговічність
2.	Задовільний	Конструкція або її елемент перебуває в працездатному стані. Наявні дефекти та пошкодження, які можуть знизити довговічність конструкції. Необхідні заходи по забезпеченню довговічності
3.	Непридатний до експлуатації	Конструкція перенапружена або існують дефекти та пошкодження, що свідчать про зниження її несучої здатності. За допомогою повітряних розрахунків та аналізу пошкоджень можна гарантувати цілісність конструкції на час підсилення
4.	Аварійний	Конструкція перенапружена або існують дефекти та пошкодження, що свідчать про зниження її несучої здатності. За допомогою повітряних розрахунків та аналізу пошкоджень не можна гарантувати цілісність конструкції на час підсилення, особливо якщо наявний «крихкий» характер руйнувань

**Результати досліджень.** Оцінювання технічного стану залізобетонних конструкцій ГТС фахівці відділу експлуатації ІВПІМНААН проводили на об'єктах інженерної інфраструктури меліоративних систем в Київській, Запорізькій, Херсонській та Миколаївській областях упродовж 2012–2017 рр. [5–7]. Нижче наведено деякі приклади проведення цих досліджень.

Так, у Херсонській області проводили дослідження по визначенню технічного стану плит перекриття головної насосної станції (ГНС) Каховської зрошувальної системи. ГНС забезпечує подачу води з Каховського водосховища в Головний Каховський магістральний канал і розрахована на миттєву водоподачу 530 м<sup>3</sup>/с на висоту 25 м. Дослідження проводили у 2012 р. разом із співробітниками кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Придніпровської державної академії будівництва і архітектури (ПДАБіА).

Ділянка, на якій розміщена ГНС, знаходиться в III географічному районі з нормативним швидкісним напором вітру 46 кг/м<sup>2</sup>. Вага снігового покриву на поверхні землі становить 84 кгс/м<sup>2</sup>. Згідно ДБН В.1.1.-12:2006 зона проектного землетрусу – 6 балів, а максимально розрахунковий землетрус – 7 балів по шкалі MSK – 64.

ГНС становить собою прямокутну в плані каркасну споруду. Покрівля споруди виконана із залізобетонних ребристих плит покриття розміром 1,5х6,0 м. Основними несучими конструкціями покриття є металеві балки, виконані зі зварного двотавру висотою 810 мм. Верхня і нижня полки зроблено з гарячекатаної листової сталі шириною 320 мм, товщиною 14 мм, а стінки – з гарячекатаної листової сталі товщиною 10 мм. Ребра жорсткості виконані з листової сталі 120х8 з кроком 1500 мм так, щоб ребро знаходилося в місці опори поздовжніх ребер плит покриття.

Згідно з проектною документацією плити покриття виконані попереднього напруження по серії ПК-01-111 «Великопанельні залізобетонні попередньо напружені плити покриття 1,5х6,0». За результатами обстеження встановлено, що поперечна арматура поздовжніх ребер приварена до поздовжніх робочих стержнів, що свідчить про відсутність попереднього напруження в поздовжніх ребрах. Тобто в процесі монтажу конструкцій покриття проектна серія плит була замінена на серію ПК-01-106 «Залізобетонні плити розміром 1,5х6 м для покриттів промислових будівель». Згідно з серією ПК-01-106 поздовжні ребра плит

армуються двома стрижнями класу А-II (діаметр призначається залежно від корисного навантаження). Проектна марка бетону згідно з серією М200. Величина спирання плит покриття на балки покриття становить 140 мм.

Плити покриття сприймають навантаження від власної ваги, від ваги конструкції покрівлі і від снігового навантаження. Покрівля виконана з восьми шарів руберойду по цементно-піщаній стяжці товщиною 40 мм. Як утеплювач використаний пінобетон товщиною 200-400 мм.

У результаті аналізу проектної документації встановлено, що проект споруди виконано у відповідності з нормативними документами, що діяли на час будівництва, що забезпечує несучу здатність основних конструктивних елементів насосної станції та функціональну придатність споруди.

При проведенні візуального обстеження плит перекриття були виконані такі операції:

- огляд конструкцій з метою перевірки відповідності фактичній та проектній конструктивним схемам;
- виявлення недоробок, неякісного виконання робіт при будівництві та ремонтах, що призводять до зниження несучої спроможності конструкцій;
- оцінка фізичних умов експлуатації конструкцій, виявлення порушень умов нормальної експлуатації;
- визначення ділянок з пошкодженнями та дефектами;
- огляд елементів залізобетонних конструкцій для виявлення місць корозійного зносу, тріщин, сколів, механічних пошкоджень.

Характерні пошкодження плит покриття ГНС наведено на рис. 1.

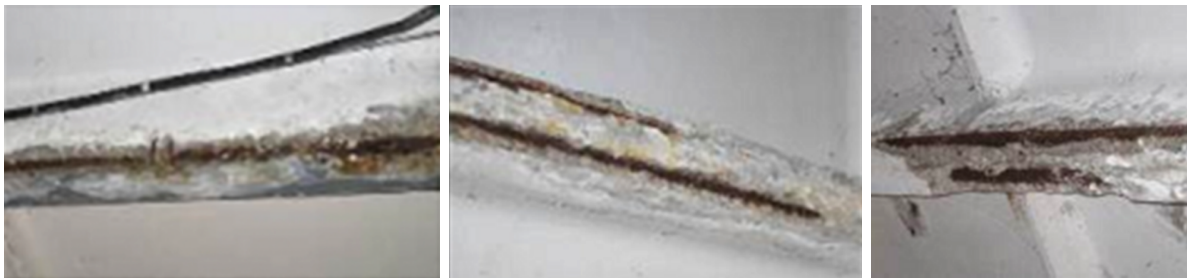


Рис. 1. Характерні пошкодження плит покриття

За результатами візуального обстеження встановлено, що технічний стан 150 плит перекриття ГНС можна оцінити як нормальний. На поверхні бетону немає видимих дефектів або пошкоджень, наявні лише деякі волосяні тріщини. Антикоровий захист закладних деталей не має порушень. Технічний стан 61 плити перекриття оцінюється як задовільний: елементи перебувають у працездатному стані, проте присутні дефекти та пошкодження, що знижує несучу здатність або довговічність; необхідні заходи для забезпечення довговічності. Антикоровий захист залізобетонних елементів має часткові пошкодження, на окремих ділянках наявні мокрі плями, висоли. У деяких місцях виступають сліди корозії арматури точково або окремими плямами, при цьому антикоровий захист закладних деталей не порушено. На плитах присутнє відлущення граней та ребер конструкції.

Технічний стан 19 плит перекриття ГНС оцінюється як непридатний до нормальної експлуатації; конструкція перенапружена та мають місце пошкодження, дефекти, що

знижує її несучу здатність. На стрижнях оголеної робочої арматури в зоні поздовжніх тріщин або на закладних деталях наявна пластинчаста іржа або виразки, що викликають зменшення площі перерізу стержнів до 15%. Наявні тріщини в розтягнутій зоні бетону, що перевищують їх допустиму ширину розкриття. Бетон у цій зоні на глибині захисного шару між стержнями арматури легко кришиться. Орієнтовно зниження міцності бетону в стислій зоні зігнутих елементів досягає 20%. На деяких ділянках є провисання окремих стрижнів розподільної арматури, випинання хомутів, розрив окремих з них унаслідок корозії. Ширина розкриття тріщин, що виникли унаслідок експлуатаційних впливів, на рівні арматури перевищує допустиму норму; присутні тріщини в зоні прогинів елементів.

Інструментальне обстеження залізобетонних плит перекриття проводили ультразвуковим методом за допомогою приладу «ПУЛЬСАР 1.1» згідно з ГОСТ 17624-2012 «Бетони. Ультразвуковий метод определения прочности» для пошуку прихованих



дефектів у бетонних конструкціях, оцінки глибини тріщин, пористості, тріщинуватості, щільності, визначення міцності бетону. Попередньо проводили обробку поверхні конструкцій шляхом зачистки від нальотів та продуктів корозії.

Міцність бетону конструкцій визначали методом поверхневого прозвучування, що дозволило контролювати міцність бетону конструкцій і у важкодоступних місцях. На контрольованих ділянках конструкцій міцність бетону при поверхневому прозвучуванні з урахуванням коефіцієнта переходу до наскрізного прозвучування визначали за граду-йованою залежністю «швидкість – міцність» відповідно до швидкості ультразвуку ( $v$ ), м/с, обчислюється за формулою

$$v = K \cdot l/t_{\text{пов}} \cdot 10^3, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт переходу від швидкості ультразвуку при поверхневому прозвучуванні до швидкості при наскрізному прозвучуванні, встановлений у період підготовки до проведення випробувань конструкцій.  $K = 1,15$ ;

$t_{\text{пов}}$  – час поширення ультразвуку при поверхневому прозвучуванні контрольованої ділянки конструкції, мкс;

$l$  – база прозвучування, мм. На досліджуваних ділянках  $l = 120$  мм.

За результатами інструментального обстеження визначено, що міцність бетону (В15-25) не нижче, ніж вказана в серії плит ПК – 01-111 (М200), і підтверджено візуальну оцінку технічного стану 19 плит перекриття як непридатних до нормальної експлуатації. Виявлені при візуальному та інструментальному обстеженні технічного стану пошкоджені ділянки плит перекриття потребують проведення комплексу заходів по ремонту та відновленню.

За результатами обстежень розроблено рекомендації по проведенню ремонтних робіт щодо відновлення плит перекриття головної насосної станції КЗС із використанням системи сучасних полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів. До ремонтної системи входять матеріали для підготовки поверхні, матеріали для антикорозійного захисту арматури та металевих деталей, матеріали для конструкційного ремонту та відновлення геометричної форми конструкцій, матеріали для відновлення захисного шару бетону.

На каналі Дніпро-Інгулець досліджували стан головної насосної станції та насосної станції другого підйому. Встановлено характерні пошкодження залізобетонних конструкцій. Конструкції НС, що контактують з водою та водонасиченими ґрунтами, за довготривалий період експлуатації знизили свої експлуатаційні показники і потребують невідкладних заходів із гідроізоляційного захисту, особливо у місцях вводу інженерних комунікацій. Фільтруюча вода усередині споруди призводить до корозії арматури та металевих елементів, кранів, засувок тощо і це найбільш небезпечно у місцях розташування електрообладнання та комутаційних приладів.

Основні проблемні ділянки виявлено в доковій частині НС, на стінах якої наявні локальні структурні пошкодження, місця розущільненого бетону та руйнування гідроізоляційного шару.

У місцях сполучення залізобетонних конструкцій стін та балок з перекриттям та в зоні стикового з'єднання стін та підлоги присутня фільтрація води крізь тіло бетону з ділянками зруйнованого захисного шару бетону в місцях протікання (рис. 2).



Рис. 2. Місця фільтрації води усередину споруди

На каналі Дніпро-Інгулець досліджували стан гідротехнічного тунелю №1 довжиною

715 м, який починається на пікеті ПК 25+20.

Цей тунель майже повністю проходить у слабких породах, переважно в піщаних.

Важкі умови експлуатації: різкі зміни температури і вологості, циклічність зволоження-висихання, заморожування – відтанення, коливання рівня води, гідростатичні перепади тиску при швидкому спорожненні тунелю, просадка та здимання основи, механічний вплив предметів, що переносяться водою, та інші фактори суттєво впливають на технічний стан цієї гідротехнічної споруди.

Початкові і кінцеві ділянки тунелю закріплені тубінговим кріпленням, довжина якого становить 70 м, до того ж для підвищення технологічних характеристик використані тубінги декількох типорозмірів. Така комбінована конструкція має достатню твердість і водонепроникність, проте при значних перепадах температур в ній можливі термічні напруги, які викликають руйнування поверхневого шару у зонах напруг, що розтягуються. Ще однією причиною руйнування бетону може бути механічна дія твердих частин, наприклад шматків льоду в холодний період року, які переносяться водою.

Основна частина тунелю закріплена залізобетонними блоками трьох модифікацій,

що охоплюють увесь поперечний переріз, і працює в кращих умовах, ніж ділянки, прилеглі до порталів. У цій частині тунелю температурні деформації мають другорядне значення.

У зв'язку з особливістю циклічного режиму експлуатації каналу Дніпро-Інгулець слід рахуватися з можливістю гідростатичного тиску на зовнішній захисний шар, діючого усередині порожнини при різкому опорожненні тунелю. Саме це ймовірно і є причиною відриву зовнішнього захисного шару в дні тунелю.

Для проведення обстежень було розбито вимірвальну мережу, що починалась з нульової позначки біля кордону вхідного portalу та орієнтована униз по ухилу тунелю з кроком розбивки 5м. Візуальні спостереження та віброакустичну діагностику об'єкта проводили із прив'язкою положення і розмірів аномалій до вимірвальної мережі. При візуальному обстеженні виявляли та проводили картування на поверхні розгортки тунелю знайдених аномалій та характерних дефектів (рис. 3).



Рис. 3. Характерні дефекти гідротехнічного тунелю № 1

Серед основних видів пошкоджень зафіксовано такі:

- тріщини, виколи (до 10 см) в поверхневому шарі бетону; найбільше тріщин виявлено в районі вхідного і вихідного порталів;
- руйнування поверхневого шару облицювання без оголення арматури;
- наявність ділянок крапельної фільтрації;
- ділянки з оголенням арматури, корозія арматурної сітки;
- відхилення форми поверхні тунелю від проектної;
- масштабне руйнування дна каналу. На окремих ділянках (до 10м) шар бетону на днищі зруйнований і змитий водою. Загальна протяжність ділянок днища із пошкодженим або відсутнім захисним шаром становить більше 300 м.

Діагностику гідротехнічного тунелю проводили віброакустичним методом із використанням приладу ІБК -1Ш, що становить собою паралельний спектроаналізатор з короткочасною аналоговою пам'яттю. Зважаючи на нестабільність контактних умов прийому коливань варіації сили удару визначення амплітуди коливань на частоті максимуму спектральної щільності виконували три рази на одній базі з подальшим усередненням даних.

У результаті віброакустичної діагностики встановлено, що:

- спостерігаються зони з різним ступенем навантаження оболонки тунелю в напрямку його осі;
- у центральній частині тунелю та його верхній частині наявне збільшення порожнистості;

- до зон з високою ймовірністю порожнистості слід віднести ділянки, на яких значення інформативного параметра (амплітуди коливань) складають не менше 40дБ. Проте підвищені значення інформативного параметра можна інтерпретувати як відшарування верхнього шару бетону, а не як порожнечу під основою і такі ділянки при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт необхідно додатково досліджувати методом буріння.

Виконані дослідження встановили серйозні порушення на багатьох ділянках тунелю, причім розподіл руйнувань нерівномірний як у поперечному перерізі, так і уздовж його осі. Встановлено, що руйнування днища відбувається нерівномірно по довжині тунелю. А руйнування бетонного шару спостерігається в початковій і кінцевій ділянках тунелю.

Обстеження, проведені на Кочурській НС Ірпінського МУВГ, на НС Північно-

Рогачицької зрошувальної системи, на ДНС 1 Новотроїцького УВГ, насосних станціях Кілійського УВГ, Бортницькій НС та низці інших об'єктів інженерної інфраструктури, показали типові руйнування на гідротехнічних спорудах, що постійно перебувають у контакті з водою. На цих об'єктах проблема активних протічок води найчастіше буває в місцях порушення стикових сполучень між конструкціями, з'єднань, примикань, деформаційних швів збірних залізобетонних елементів, що призводить до виникнення корозії бетону та арматури, та знижує надійність і довговічність усієї споруди.

Унаслідок багаторічної експлуатації на усіх досліджуваних НС спостерігається часткове руйнування залізобетонних елементів споруди, протікання, тріщини, розуцільнення бетону (рис. 4).



Рис. 4. Протічки в доковій частині Кочурської насосної станції

Особливо небезпечно, коли у зоні активної фільтрації ґрунтових вод розташовані силові високовольтні кабелі, так, як вода, яка потрапляє на них, створює аварійну ситуацію для роботи енергосилового обладнання та небезпеку для обслуговуючого персоналу.

Проведений аналіз результатів обстежень та оцінювання технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури, з урахуванням виду та кількості виявлених дефектів, показує, що для відновлення експлуатаційних властивостей та підвищення довговічності об'єктів доцільно застосувати такі матеріали та технології:

- усунення активних протічок води шляхом ін'єктування реакційно здатними поліуретановими композиціями, що спінюються;
- ремонт стикових з'єднань шляхом застосування швидко тужавіючих полімерцементних композицій в комплексі з полімерною гідроізоляцією;

- омонолічування зруйнованих конструкцій полімерцементними композиційними матеріалами;

- тампонаж пустот модифікованими литими бетонними сумішами;

- монолітне бетонування самоущільнюючими литими бетонними сумішами, модифікованими комплексною добавкою на основі суперпластифікатора та мікрокремнезему;

- конструкційний ремонт композиціями на основі фіброполімерцементних сухих сумішей.

У зв'язку з цим у відділі експлуатації ІВПіМ НААН досліджуються та розробляються технології ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій із застосуванням полімерних та полімерцементних композиційних матеріалів, різних за своїм призначенням, які у комплексі дозволяють вирішити проблеми відновлення та реконструкції ГТС, починаючи від аварійної

ліквідації активних протікань у конструкціях і закінчуючи відновленням поверхні та геометричної форми конструкцій [7–9].

**Висновок.** Результати обстеження та оцінювання технічного стану гідротехнічних споруд меліоративних систем показують, що в результаті тривалої експлуатації в умовах високої агресивності оточуючого середовища, вони мають велику кількість різнома-

нітних пошкоджень, які неможливо усунути з використанням окремої технології.

Якісне усунення цих пошкоджень можливо шляхом науково обґрунтованого вибору захисних матеріалів, технологій і способів виконання ремонтно-відновлювальних робіт, що дозволить зменшити фільтраційні втрати води та збільшити термін служби об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем.

### Бібліографія

1. Сучасний стан та перспективи відновлення ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу / Крученюк В.Д. та ін. // *Водне господарство України*. 2013. № 3. С. 34-37.
2. *Современные методы и технологии в области безопасности гидротехнических сооружений*. 2015. 137 с. URL: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/WAT/12Dec\\_03-04\\_Almaty](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/WAT/12Dec_03-04_Almaty).
3. *Рассказов Л.Н., Орехов В.Г., Анискин Н.А. Гидротехнические сооружения*. Москва: 2008. 528 с.
4. *Методика проведення натурних обстежень насосних станцій та гідротехнічних споруд на магістральних каналах меліоративних систем*. Київ: Держводагетство України. 2013. 27 с.
5. Дехтяр О.О., Брюзгіна Н.Д. Сучасний стан гідротехнічних споруд та відновлення їх функціональної здатності // *Сучасний стан та перспективи розвитку водного господарства*. Міжнародна науково-технічна конференція. Дніпропетровськ, 2016. С. 24-26.
6. Сучасні технології підвищення експлуатаційної надійності водогосподарських споруд / Дехтяр О.О та ін. // *Меліорація і водне господарство*. 2011. Вип. № 99. С. 322-332.
7. Ефективні технології усунення активних протічок води через бетонні споруди водогосподарсько-меліоративного комплексу / Крученюк В.Д та ін. // *SWorld*. 2015. № 3. Т. 6. С. 84-89.
8. Коваленко О.В. Технологічні напрями підвищення експлуатаційної надійності та довговічності гідротехнічних споруд при їх ремонті та реконструкції // *Меліорація і водне господарство*. 2014. Вип. 101. С. 332-340.
9. *Конструкційний ремонт гідротехнічних споруд меліоративних систем з використанням сухих полімерцементних будівельних сумішей / Агеев О. А. та ін. / «Перспективні напрями розвитку водного господарства, будівництва і землеустрою»*. // Міжнародна науково-практична конференція. Херсон. 2016. С. 384-386.

### References

1. Kruchenyuk, V.D, Kovalenko, O.V, Bryuzgina, N.D, Dehtiar, O.O. (2013). *Suchasnyi stan ta perspektyvy vidnovlennia HTS vodohospodarsko-melioratyvnoho kompleksu [The current state and prospects of restoration of the GTS of the water management and reclamation complex]*. *The water economy of Ukraine*, 3, 34-37. [in Ukrainian]
2. *Sovremennyye metody i tekhnologii v oblasti bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Modern methods and technologies in the field of safety of hydraulic structures]*. (2015). 137 p. Retrieved from [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/WAT/12Dec\\_03-04\\_Almaty](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/WAT/12Dec_03-04_Almaty). [in Russian]
3. *Rasskazov, L.N., Orekhov, V.G., Aniskin, N.A. (2008). Gidrotekhnicheskie sooruzheniya [Hydrotechnical constructions]*. Moscow. [in Russian].
4. *Metodyka provedennia naturnykh obstezhen nasosnykh stantsii ta hidrotekhnichnykh sporud na mahistralnykh kanalakh melioratyvnykh system [Method of conducting field inspections of pumping stations and hydraulic structures on main channels of reclamation systems]*. (2013). *The State Water Agency of Ukraine*. Kyiv [in Ukrainian].
5. *Dekhtiar, O.O., Bryuzgina, N.D. (2016). Suchasnyi stan hidrotekhnichnykh sporud ta vidnovlennia yikh funktsionalnoi zdatnosti [The current state of hydraulic structures and the restoration of their functional capacity]*. *Current state and prospects of water sector development. International scientific and technical conference. Dnipropetrovsk*, 24-26. [in Ukrainian].
6. *Dehtiar, O.O., Lytvynenko P., Kovalenko O., Bryuzgina N. (2011). Suchasni tekhnolohii pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti vodohospodarskykh sporud [Modern technologies for*

improving operational reliability of water facilities]. *Reclamation and water management*, 99, 322-332. [in Ukrainian].

7. Krucheniuk, V.D., Dekhtiar, O.O., Bryuzgina, N.D., Kovalenko, O.V., & Ageev, O.O. (2015) *Efektivni tekhnolohii usunennia aktyvnykh protichok vody cherez betonni sporudy vodohospodarsko-melioratyvnoho kompleksu [Effective technologies for elimination of active water flows through concrete structures of the water-reclamation complex]. SWorld*, 3, vol. 6, 84-89. [in Ukrainian ].

8. Kovalenko, O.V. (2014). *Tekhnolohichni napriamy pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti ta dohovichnosti hidrotekhnichnykh sporud pry yikh remonti ta rekonstruktsii [Technological directions of increasing operational reliability and durability of hydraulic structures during their repair and reconstruction]. Reclamation and water management*, 101, 332-340. [in Ukrainian].

9. Ageev, O. A., Kovalenko, O.V., Dehtiar, O.O., Bryuzgina, N.D. (2016). *Konstruktivnyi remont hidrotekhnichnykh sporud melioratyvnykh system s vykorystanniam suchykh polimertsementnykh budivelnnykh sumishei [Structural repair of hydrotechnical structures of reclamation systems using dry polymer-cement mixes]. Perspective directions of development of water management, construction and land management: International scientific-practical conference. Kherson*, 384-386.

**О.А. Дехтяр, А.В. Коваленко, Н.Д. Брюзгина**  
**Оценивание технического состояния объектов инженерной инфраструктуры**  
**мелиоративных систем**

*В статье исследовано современное состояние объектов инженерной инфраструктуры мелиоративных систем. Проведена оценка технического состояния плит перекрытия главной насосной станции Каховской оросительной системы, гидротехнического туннеля № 1 и насосных станций Ингулецкой, Северо-Рогачицкой оросительных систем, Ирпенской осушительно-увлажнительной системы и ряда других объектов. Выполнена систематизация типичных повреждений и дефектов бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений. Полученные данные стали основой для научно-обоснованного выбора и разработки эффективных материалов и технологий для восстановления эксплуатационных свойств и повышения долговечности сооружений мелиоративных систем.*

**О.А. Dekhtiar, A.V. Kovalenko, N.D. Bryuzgina**  
**Evaluation of technical state of objects of engineering infrastructure of ameliorative systems**

*In the article the modern state of the objects of engineering infrastructure of reclamation systems is investigated. The estimation of the technical state of the slabs of the overhead covering of the main pumping station of the Kakhovka Irrigation System, the Hydrotechnical Tunnel No 1 and the pumping stations of Inguletskaya, North-Rohachitsk Irrigation Systems, the Irpin drainage and moisturizing system and a number of other objects was carried out. The systematization of typical damages and defects of concrete and reinforced concrete hydrotechnical structures is carried out. The obtained data became the basis for scientifically-based selection and development of effective materials and technologies for restoration of operational properties and increase of durability of structures of reclamation systems.*

## ЗМІСТ

## ВОДНІ РЕСУРСИ

<b>P.D. Khoruzhy, S.R. Stasiuk, Y.B. Mosiychuk.</b> Method of engineering calculations of bioreactors for biological treatment of natural water and advanced treatment of sewage.....	5
<b>П.Д. Хоружий, С.Р. Стасюк, Я.Б. Мосійчук.</b> Методика інженерних розрахунків біореакторів для біологічного очищення природних і доочищення стічних вод.....	11
<b>П.І. Ковальчук, Р.Ю. Коваленко, Г.А. Балихіна.</b> Методологічні особливості концепції системного управління водними ресурсами за басейновим принципом.....	17
<b>В.І. Рожко.</b> Просторово-часова оцінка якості вод за екологічними критеріями в системі каналу Дніпро-Донбас.....	24

## ЗРОШЕННЯ – ОСУШЕННЯ

<b>Д.П. Савчук, О.І. Харламов, І.В. Котикович.</b> Ефективність закритого горизонтального дренажу на фоні зрошення ДМ «Фрегат».....	30
<b>О.І. Жовтоног, Л.А. Філіпенко, Т.Ф. Деменкова, В.В. Поліщук, Я.О. Бутенко.</b> Врахування змін клімату та інтенсивності посух при плануванні зрошення в зоні Південного Степу України.....	37
<b>П.І. Трофименко, Н.В. Трофименко.</b> Інтенсивність емісії CO <sub>2</sub> з ґрунтів Полісся під час вегетації культур та доміантність зумовлюючих її чинників.....	47
<b>І.Л. Гончарук.</b> Параметрична надійність материкової ділянки Північно-Кримського каналу.....	55

## АГРОРЕСУРСИ

<b>Ю.О. Тараріко, І.Т. Слюсар, Г.І. Личук, О.М. Бердніков, А.О. Мельничук, М.Г. Стецюк, М.Д. Зосимчук.</b> Потенціал біопродуктивності осушуваних земель України.....	59
---	----

## ГІДРОЛОГІЯ

<b>І.В. Гопчак.</b> Ретроспективний аналіз динаміки змін якості поверхневих вод річки Західний Буг.....	67
<b>О.О. Дятел, С.В. Телима.</b> Розрахунки та прогнозування впливу кар'єру «Хотиславський» на гідродинаміку ґрунтових і підземних вод Волинського Полісся.....	73

## ГІДРОТЕХНІКА

<b>В.І. Петроченко, О.В. Петроченко.</b> Обґрунтування захисних протипаводкових покриттів русел гірських річок.....	80
<b>О.О. Дехтяр.</b> Системний підхід до оцінки функціонування меліоративних систем України.....	87
<b>О.В. Коваленко, О.Ю. Юзюк.</b> Вплив водоцементного відношення та полімерного латексу на рухомість самоущільнювальної суміші та міцнісні характеристики бетону.....	95
<b>О.О. Дехтяр, О.В. Коваленко, Н.Д. Брюзгіна.</b> Оцінювання технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем.....	102

## CONTENTS

### WATER RESOURCES

- P.D. Khoruzhy, S.R. Stasiuk, Y.B. Mosiychuk.** Method of engineering calculations of bioreactors for biological treatment of natural water and advanced treatment of sewage.....5
- P.D. Horuzhy, S.R. Stasiuk, Ya.B. Mosiychuk.** Method of engineering calculations of bioreactors for biological treatment of natural water and advanced treatment of sewage.....11
- P. Kovalchuk, R. Kovalenko, H. Balykhina.** Methodological features of the concept of water use system management using basin principle.....17
- V.I. Rozhko.** Spatial-temporal estimation of water quality according to ecological criteria in the Dnipro-Donbass canal system..... 24

### IRRIGATION-DRAINAGE

- D.P. Savchuk, O.I. Kharlamov, I.V. Kotykovych.** Effectiveness of closed horizontal drainage when irrigating with «Fregat» SM..... 30
- O. Zhovtonog, L. Filipenko, T. Demenkova, V. Polishchuk, Ya. Butenko.** Irrigation planning taking into account climate change and droughts intensity in the Steppes zone of south Ukraine..... 37
- P.I. Trofymenko, N.V. Trofymenko.** Intensity of CO<sub>2</sub> emissions from the soils of Polissya during the crop vegetation and dominance of its conditioning factors .....47
- I.L. Goncharuk.** Parametric reliability of the continental part of the North-Crimean canal.....55

### AGRO RESOURCES

- Yu.O. Tarariko, I.T. Slyusar, G.I. Lychuk, A.M. Berdnikov, A.O. Melnychuk, N.G. Steciuk, N.D. Zosymchuk.** Potential of bioproductivity of drained lands of Ukraine.....59

### HYDROLOGY

- I.V. Gopchak.** Retrospective analysis of the dynamics of changes in the surface water quality in the Western Bug River.....67
- A. Diatel, S. Telyma.** Calculations and prognosis of the influence of the “Hotyslavsky” open cast on the hydrodynamic of the ground and underground waters of the Volyn Polissya.....73

### HYDRAULIC ENGINEERING

- V. I. Petrochenko, O. V. Petrochenko.** Substantiation of coverage of the canal of a mountain river for protection against flood .....80
- O. Dekhtiar.** System approach to the estimation of the operation of Ukrainian reclamation systems..... 87
- A.V. Kovalenko, A.Y. Yuzyuk.** The influence of the water-cement ratio and polymer latex on the mobility of the self-compacting mixture and on the strength characteristics of concrete..... 95
- O.A. Dekhtiar, A.V. Kovalenko, N.D. Bryuzgina.** Evaluation of technical state of objects of engineering infrastructure of ameliorative systems.....102

**Наукове видання**

**Меліорація**  
*і водне господарство*

*Випуск 1 (107)*

**Міжвідомчий тематичний  
науковий збірник  
Заснований у 1965 році**

Виконавчі редактори – Т.І. Трошина, Н.В. Логунова, К.Б. Шатковська, О.П. Войтович

Підписано до друку 25.06.2018 року.  
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсет. Цифровий друк.  
Ум.-друк. арк. 13,02. Обл. вид. арк. 8,58.  
Замов. № 2401-94. Наклад 100 прим.

Видавництво та друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»  
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а  
E-mail: oldi-ks@i.ua  
Свід. ДК No 6532 від 13.12.2018 р.