

УДК 911.2:556.555 (477.81)

Мартинюк В.О.,  
кандидат географічних наук, доцент,  
професор кафедри екології, географії та туризму  
*Рівненський державний гуманітарний університет*

Зубкович І.В.,  
аспірант кафедри екології, географії та туризму  
*Рівненський державний гуманітарний університет*

Андриїчук С.В.,  
аспірант кафедри екології, географії та туризму  
*Рівненський державний гуманітарний університет*

## ЛАНДШАФТНО-ГЕОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМІЧНОЇ СТРАТИФІКАЦІЇ ПРИРОДНО-АКВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ОЗЕРА СВІТЛЕ (ВОЛИНСЬКЕ ПОЛІССЯ)

Обґрунтовуються питання термічної стратифікації озер Волинського Полісся для потреб рекреації, рибництва, моделювання процесів у аквальних екосистемах для теоретичних і практичних потреб лімнології. Представлено батиметричну модель та поперечний переріз зміни глибин оз. Світле. Здійснено оцінку морфометричних, гідрологічних та гідрохімічних параметрів водойми. Проаналізовано питання генезису аквального комплексу, побудовано графік зміни температури води й виокремлено термічні зони водойми. Створено дві ландшафтно-географічні моделі природно-аквального комплексу оз. Світле на основі даних термічної стратифікації та літолого-геоморфологічного чинника. Акцентовано увагу на подальших пошуках озер із проблем термічної стратифікації у світлі глобальних змін клімату.

**Ключові слова:** озеро, батиметрична модель, термічна стратифікація озера, ландшафтно-географічна модель, природний аквальний комплекс.

Обосновываются вопросы термической стратификации озер Волынского Полесья для целей рекреации, рыбоводства, моделирования процессов в аквальных экосистемах для теоретических и практических нужд лимнологии. Представлена батиметрическая модель и поперечное сечение изменения глубин оз. Светлое. Осуществлена оценка морфометрических, гидрологических и гидрохимических параметров водоема. Проанализированы вопросы генезиса аквального комплекса, построен график изменения температуры воды, выделены термические зоны водоема. Созданы две ландшафтно-географические модели природно-аквального комплекса оз. Светлое на основе данных термической стратификации и литолого-геоморфологического фактора. Акцентируется внимание на дальнейших поисках озер по проблемам термической стратификации в свете глобальных изменений климата.

**Ключевые слова:** озеро, батиметрическая модель, термическая стратификация озера, ландшафтно-географическая модель, природный аквальный комплекс.

### Martyniuk V.O., Zubkovych I.V., Andriichuk S.V. THE LANDSCAPE-GEOGRAPHIC MODELING OF THERMAL STRATIFICATION OF NATURAL-AQUATIC COMPLEX OF SVITILE LAKE (VOLYN POLISSYA)

The questions of thermal stratification of lakes of Volyn Polissya for the needs of recreation, fish farming, modeling of processes in aquatic ecosystems for the theoretical and practical needs of limnology are being substantiated. The bathymetric model and the cross section of changes in the depths of Svitle lake have been presented. The morphometric, hydrological and hydrochemical parameters of the reservoir have been evaluated. The questions of the genesis of the aqua complex have been analyzed, the schedule of water temperature changes has been built and the thermal zones of the reservoir have been pointed out. Two landscape and geographic models of the natural aquatic complex of Svitle lake have been created on the basis of thermal stratification data and lithologic-geomorphological factor. The focus is on the further exploration of lakes according to the problems of thermal stratification in the light of global climate change.

Two landscape-geographic models of the natural aquatic complex of Lake Svetl are presented in the paper taking into account various dominant approaches, in particular the leading role of the tempera-



ture regime and lithologic-geomorphological factors of the natural aquatic complex. This type of model is important for the needs of recreation, fish farming in reservoirs of natural origin, as well as for the assessment of hydrophysical processes in small lakes of Ukrainian Polissya in the light of global and regional climate change. The phenomenon of thermal stratification of lakes. The light is unique from the point of view of the atypical location at a small depth of the metallymonium for the Volyn Polissya lakes. We consider it necessary to continue the research on bathymetric modeling of Volyn Polissya lakes and to study the phenomena of thermal stratification of reservoirs with the support of state institutions on hydrometeorology and ecology.

**Key words:** lake, bathymetric model, thermal stratification of the lake, landscape-geographic model, natural aquatic complex.

**Постановка проблеми.** Явище термічної стратифікації озер є закономірним гідрофізичним процесом функціонування середньоглибких та глибоких водойм уповільненого водообміну влітку, що розташовані в помірному поясі, а також круглорічне для водойм тропічного поясу. Дослідження температурного режиму озерних водойм актуальне для планування рекреаційної та бальнеологічної діяльності, рибництва на водоймах й моделювання процесів у аквакосистемах для теоретичних і практичних потреб лімнології. На жаль, в Україні стаціонарні дослідження такого типу проводяться лише на окремих озерах, передусім на водоймах заповідників та національних природних парків за підтримки державного фінансування з програми написання літописів природи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процеси термічної стратифікації озер достатньо добре обґрунтовуються в класичних роботах із лімнології Б. Богословського, Р. Ветцеля, К. Едельштейна, Ф. Фореля, Д. Хатчінсона, О. Якушко та інших вчених. Польові ландшафтно-географічні дослідження, що проводяться нами в межах Волинського Полісся, передбачають розробку на основі інструментальних пошуків батиметричних карт озер, моделей термічної стратифікації водойм, створення ландшафтних карт із урахуванням специфіки натурних даних та лабораторної діагностики геокомпонентів озерно-басейнової системи.

**Постановка завдання** – розкрити особливості термічної стратифікації природно-аквального комплексу (ПАК) оз. Світле та розробити ландшафтно-географічні моделі двох типів. В основу дослідження покладені роботи з лімнології Л. Ільїна [1], К. Едельштейна [2], О. Якушко [3] та матеріали пошуків авторів з термічної стратифікації озер Українського Полісся [4; 5]. Частково використано дані карстової експедиції Українського НДГМІ (Київ).

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Оз. Світле розташоване в Маневицькому районі, за 2,3 км на схід від с. Світле (Ковельський район), або за 9,0 км на північний захід від с. Софіянівка (Маневицький район). Озеро сформувалося в межах Маневицько-Володимирецького ландшафту й приурочене до місцевостей денудаційних хвилястих рівнин із близьким заляганням крейдових мергелів. Денудаційні форми рельєфу представлені плоскими підняттями у вигляді окремих горбів і гряд, які розділені заболоченими пониженнями і озерами. Водойма є складовою гідрологічного заказника «Світлий» загальною площею 16,2 га. Заказник лежить у межах землекористування ДП «Маневицьке ЛГ», Софіянівського лісництва, кв. 11, вид. 11-12, 19-23, 27-28, утворений за розпорядженням Волинського облвиконкому від 20.11.1986 р., № 361-р. Озеро навколо оточене високобонітетними (1-2 бонітету) насадженнями ялини європейської (*Picea abies*), сосни звичайної (*Pinus sylvestris*), вільхи чорної (*Alnus glutinosa*) [6].

Площа озера незначна й складає, за нашими оцінками, – 0,022 км<sup>2</sup>. За результатами гідрологічних промірних робіт з поверхні льоду, що здійснені нами у лютому 2018 р., складена батиметрична карта водойми (рис. 1).

У межах акваторії озера на сході виділяються дві мілководні затоки, а в західній, дещо видовженій частині з водойми витікає струмок; тобто озеро стічне. У плані озера чітко виділяються три карстові лійки. Одна – в південній частині з максимальною глибиною понад 11,0 м, а дві інші – в північній частині (понад 20,0 та 16,0 м), що ближче до центру озерної улоговини. Ізобата з відміткою понад 6,0 м центральної частини ложа озера є найглибшою ділянкою цього природного аквакомплексу. На гідрологічному профілі озерної улоговини чітко продемонстровано лише дві лійки-западини в оз. Світлому (рис. 2).

Максимальна довжина озера – 0,199 км, мак-

Таблиця 1

**Морфометричні та гідрологічні характеристики оз. Світле**

$*F,$ км <sup>2</sup>	$H_{абс.},$ М	$h_{ср.},$ М	$h_{max.},$ М	$L,$ км	$B_{max.},$ км	$B_{ср.},$ км	$i$	$K_n.$	$K_{від.}$
0,022	171,8	4,0	22,4	0,199	0,169	0,110	0,593	0,214	1,810
$K_{смк.}$	$K_{відк.}$	$K_{гл.}$	$V_{оз.},$ тис.м <sup>3</sup>	$K$	$\Delta S,$ км <sup>2</sup>	$**W_{пр.},$ тис.м <sup>3</sup>	$a_{вод.},$	$\Delta a_{вод.},$	$A_{ш.},$ мм
0,179	0,006	14,286	126,0	0,015	67,318	187,2	1,486	0,673	85,078

\*Площа озера ( $F$ ), абсолютна відмітка рівня води ( $H_{абс.}$ ), глибина середня ( $h_{ср.}$ ) та максимальна ( $h_{max.}$ ), довжина ( $L$ ), ширина максимальна ( $B_{max.}$ ) та середня ( $B_{ср.}$ ), довжина берегової лінії ( $i$ ); коефіцієнти – порізності берегової лінії ( $K_n$ ), видовженості озера ( $K_{відк.}$ ), ємкості ( $K_{смк.}$ ), відкритості ( $K_{відк.}$ ), глибинності ( $K_{гл.}$ ), об'єм озера ( $V_{оз.}$ ), показник площі ( $K$ ), питомий водозбір ( $\Delta S$ ), об'єм приточних вод з водозбору ( $W_{пр.}$ ), умовний водообмін ( $a_{вод.}$ ), питома водообмінність ( $\Delta a_{вод.}$ ), шар акумуляції ( $A_{ш.}$ ). \*\*Середньорічний модуль стоку, л/с · км<sup>2</sup> – 4,0.

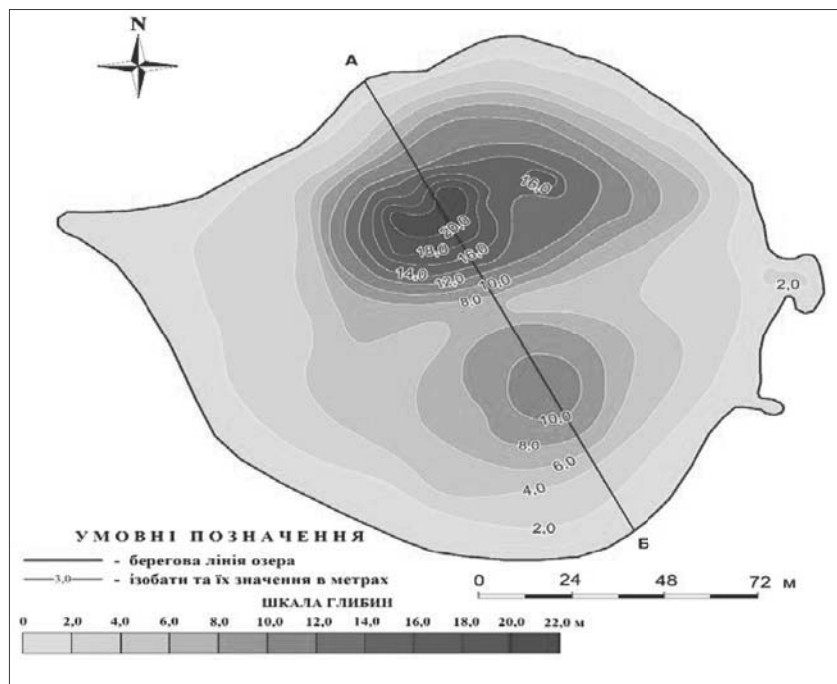


Рис. 1. Батиметрична карта оз. Світле

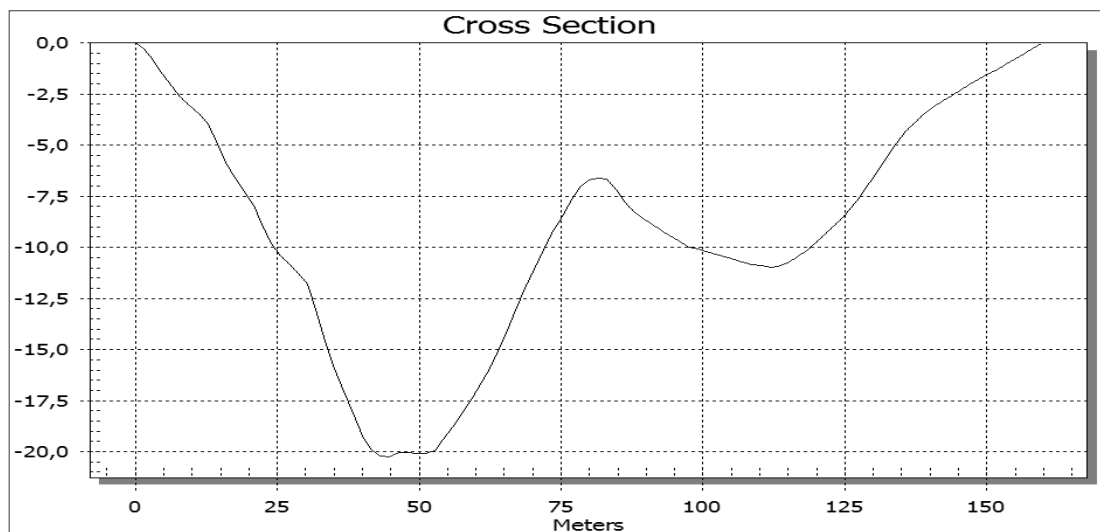


Рис. 2. Поперечний переріз зміни глибин по лінії А-Б оз. Світл



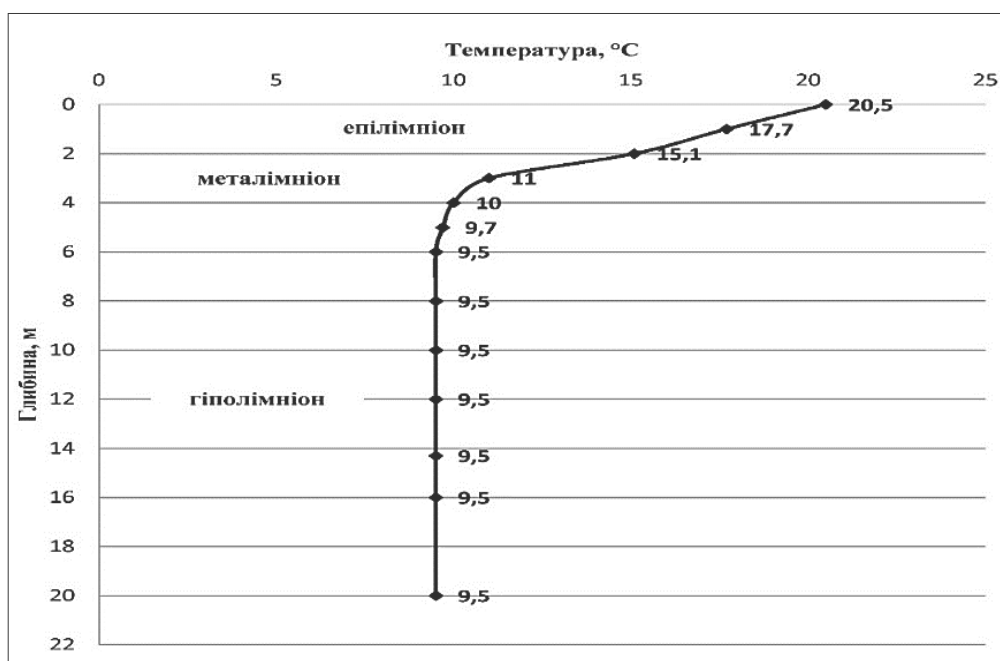
Таблиця 2

**Деякі показники сольового фону, трофо-сапробіологічних характеристик та речовин біоцидної дії у воді оз. Світле\***

№ з/п	Показник	ГДК**	оз. Світле (дата відбору проб: 25.08.2018)
А. Показники сольового складу			
1	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	<300	106,4
2	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	300	4,3
3	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	100	12,2
Б. Трофо-сапробіологічні показники			
1	Прозорість, м	>1,5	4,0
2	рН	6,5-8,1	8,3
3	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	0,5	<0,05
4	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	40	<0,1
5	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мгN/дм <sup>3</sup>	0,08	<0,003
6	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мгP/дм <sup>3</sup>	2,14	<0,01
С. Специфічні показники токсичної дії			
1	Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,001-0,01	0,005
2	Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,013
3	Кадмій, мг/дм <sup>3</sup>	0,005	0,0015
4	Плюмбум, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,011
5	Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,13

\*Гідрохімічні аналізи проб води виконані в сертифікованій лабораторії Рівненської обласної СЕС.

\*\*ГДК для водойм рибогосподарського призначення [8].



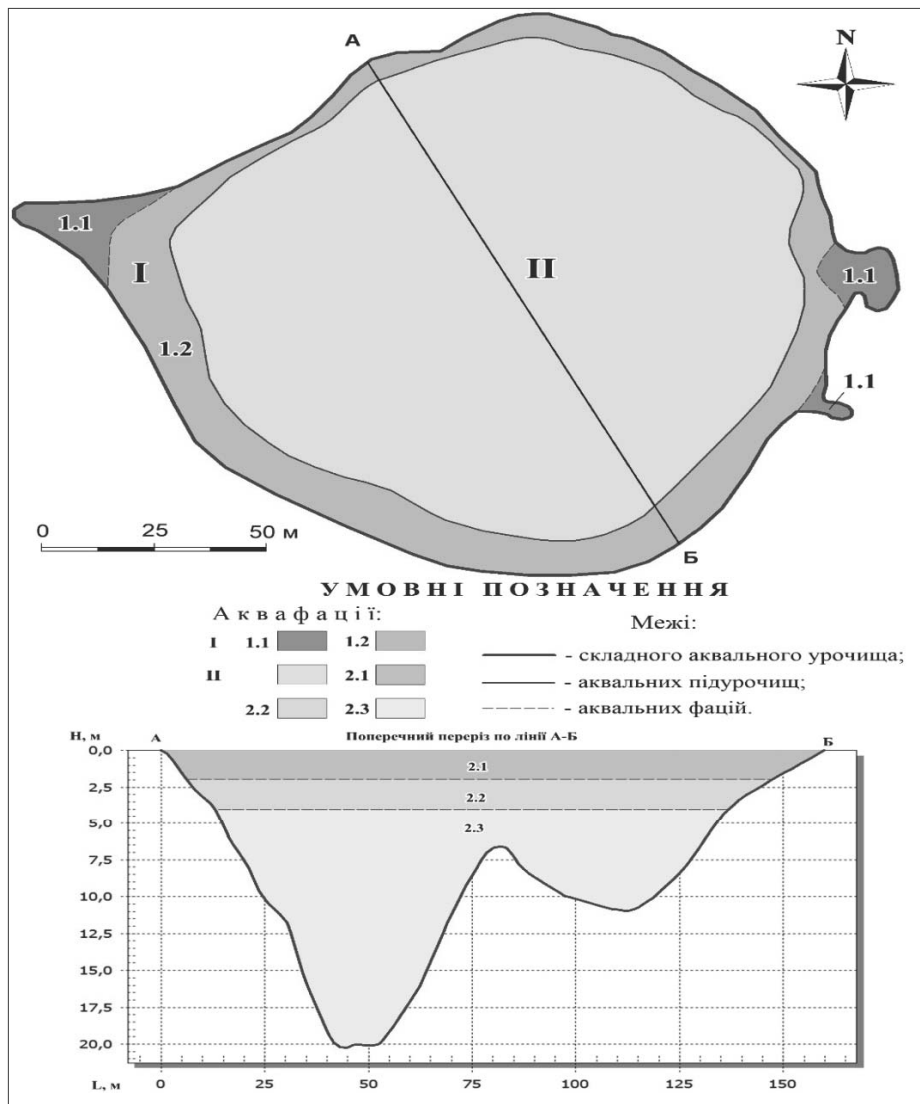
**Рис. 3. Розподіл температури води оз. Світле**

(побудовано за матеріалами картової експедиції Укр. НДГМІ)

симальна ширина – 0,169 км, середня – 0,110 км. Озеро доволі глибоке й становить 22,4 м (інші дані 28,0 м [6]). Об'єм водних мас озера складає 126,0 тис. м<sup>3</sup>. Площа водозбору за попередніми

оцінками становить 1,481 км<sup>2</sup>. Інші лімно-метричні характеристики наведено в таблиці 1.

Оцінка гідролого-морфометричних параметрів оз. Світле послужила основою для



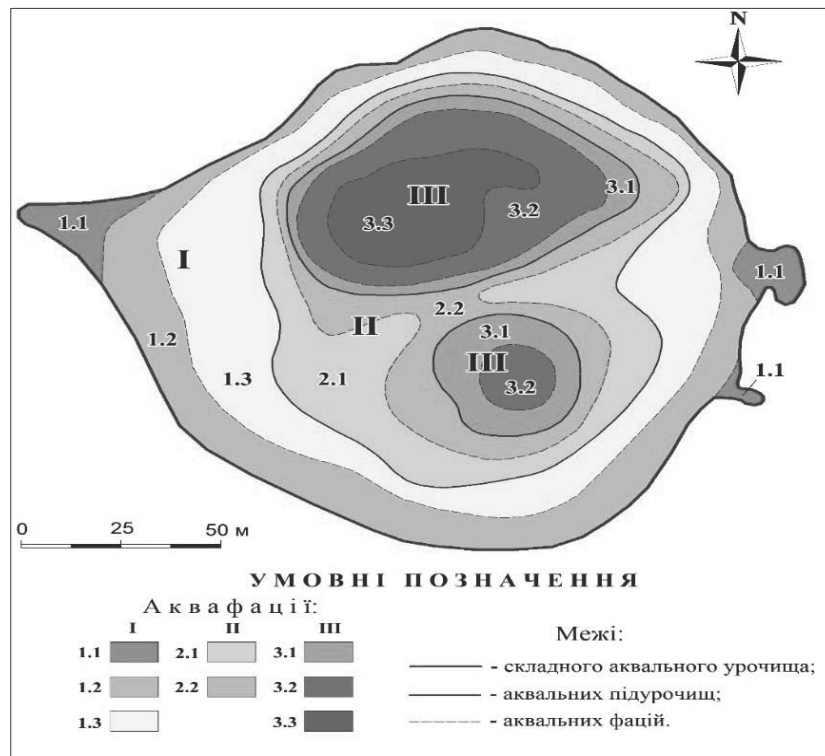
**Рис. 4 а. Ландшафтно-географічна модель (І) оз. Світле**  
(побудована на основі даних термічної стратифікації ПАК)

аналізу температурних особливостей водойми. На прикладі найглибшої карстової лійки (22,4 м) озера нами побудовано графік розподілу температури з глибиною для серпня місяця (рис. 3).

Нами виявлено явище формування термокліну (температурного стрибка) на глибині 2,0-4,0 м. Розташування металімніону для озер Волинського Полісся на такій малій глибині є досить рідкісним явищем. Як правило, для озер Поліського фізико-географічного краю формування металімніону в теплий сезон року відбувається з глибини 7-8 м [4]. Пробурена свердловина (№ 1416) у південно-східній частині водозбору озера (20,0 м від урізу води) показала, що до 16,0 м від денної поверхні залягають дрібнозернисті піски, на глибині 16,0-32,0 м заля-

гає сметаноподібна крейда, а з глибини 32,0 м залягає крейда писальна твердої консистенції [7]. Отже, ми маємо справу з карстовим озером, улоговина якого сформувалася в зоні тріщинуватих напірних вод верхньокрейдового горизонту. Очевидно, що Оконські джерела, які розташовані за 18-20 км на схід від оз. Світле, живляться із цього ж самого водоносного горизонту. Саме холодні напірні води, якими в основному живиться оз. Світле, вносять зміни в типову картину регіональної термічної стратифікації озер Волинського Полісся.

Відібрані проби води з оз. Світле влітку 2018 р. на гідрохімічні аналізи показали, що майже за усіма показниками вода відповідає ГДК для водойм рибогосподарського призна-



**Рис. 4в. Ландшафтно-географічна модель (II) оз. Світле**

(побудована на основі провідної ролі літолого-геоморфологічних чинників ПАК)

чення (табл. 2). Незначне перевищення ГДК становлять специфічні показники токсичної дії, зокрема за вмістом рухомих форм цинку, плумбуму та заліза загального у воді озера.

На основі польових досліджень нами побудовано дві ландшафтно-географічні моделі оз. Світле, а саме: 1) з урахуванням термічної стратифікації ПАК (рис. 4а), 2) з урахуванням літолого-геоморфологічних, біотичних та температурних чинників ПАК (рис. 4в). Озеро Світле, згідно із методикою [9], ми розглядаємо як складне акваурочище. У першій моделі нами виділено лише два аквапідурочища (рис. 4а), зокрема літоральне із двома видами аквафацій та пелагіальне із трьома аквафаціями (епілімніону, металімніону і гіполімніону). Принципи виокремлення пелагіального аквапідурочища ґрунтуються на основі термічної стратифікації й детально розглядалися нами в попередніх роботах [4; 10].

**I. Літорально-субліторальне аквапідурочище на піщано-мулистих відкладах та органо-вапняковому сапропелі, що сформувалися на алювіальних пісках із видовим**

**різноманіттям надводних і підводних макрофітів.**

**Аквафації: 1.1.** Мілководні, абразійно-аккумулятивні та транзитні піщано-мулисті айрово-рогозово-ситникових асоціацій, з однорідним температурним режимом. **1.2.** Мілководні, акумулятивно-транзитні мулисто-піщані осоково-роголистниково-куширових асоціацій, з однорідним температурним режимом.

**II. Пелагіальне аквапідурочище центральної частини озерної улоговини з малопотужними та середньопотужними відкладами сапропелю на крейдо-мергельних відкладах, що підстеляються крейдою писальною.**

**Аквафації: 2.1.** Пелагіальні епілімніону з глибинами до 2,0 м, з однорідним температурним режимом у літній період та освітленістю всього водного шару. **2.2.** Пелагіальні металімніону з глибинами 2,0-4,0 м, різкого температурного стрибка в літній період та освітленістю до 4,0 м водного шару. **2.3.** Пелагіальні гіполімніону з глибинами 4,0-21,0 м, низьких температур (9,7-9,5 °C), слабкою освітленістю водного шару та гідродинамічною стабільністю.

Таблиця 3

## Ландшафтометрична оцінка ПАК оз. Світле

Вид ПАК	Площа виду ПАК (га)		% площі виду від загальної площі		Кількість контурів виду фацій в межах ПАК	% від загальної кількості	Середня площа виду (під-) урочища (га)	Індекс подібності	Коефіцієнт складності	Коефіцієнт ландшафтно-роздрібності
	(Під-) урочище	Фація	(Під-) урочище	Фація						
I		0,963	42,84		5	41,66	0,193	5,192	25,907	0,800
	1.1			0,068						
	1.2			0,414						
	1.3			0,481						
II		0,568	25,27		2	16,66	0,284	3,521	7,042	0,500
	2.1			0,326						
	2.2			0,242						
III		0,717	31,90		5	41,67	0,143	6,974	34,965	0,801
	3.1			0,171						
	3.2			0,216						
	3.3			0,330						
<b>Усього</b>		<b>2,248</b>	<b>100,00</b>	<b>2,248</b>	<b>12</b>	<b>100,00</b>	<b>0,187</b>	<b>5,338</b>	<b>64,171</b>	<b>0,917</b>



**I. Літорально-субліторальне аквапідурочище на піщано-мулистих відкладах та органо-вапняковому сапропелі, що сформувалися на алювіальних пісках з видовим різноманіттям надводних і підводних макрофітів.**

**Аквафації:** **1.1.** Мілководні, абразійно-аккумулятивні та транзитні піщано-мулисті айрово-рогозово-ситникових асоціацій, з однорідним температурним режимом. **1.2.** Мілководні, акумулятивно-транзитні мулисто-піщані осоково-роголистниково-куширових асоціацій, з однорідним температурним режимом. **1.3.** Мілководні акумулятивно-транзитні малопотужні (0,5-1,0 м) органо-вапняково-сапропелеві, водоперице-жабурниково-рдесникових асоціацій, різкого температурного стрибка у літній період.

**II. Субліторально-профундальне аквапідурочище на органо-вапняковому сапропелі з лінзами піщано-вапнякового сапропелю зі збідненим видовим різноманіттям підводної рослинності.**

**Аквафації:** **2.1.** Субліторальні, транзитно-аккумулятивні органо-вапняково-сапропелеві малопотужні (1,0-1,5 м), з поодинокими плаваючими водоростями та неоднорідним температурним режимом у літній період. **2.2.** Субліторально-профундальні, акумулятивно-транзитні органо-вапняково-сапропелеві з лінзами піщано-вапнякового сапропелю малопотужні (1,5-2,0 м), з поодинокими плаваючими водоростями та неоднорідним температурним режимом у літній період.

**III. Профундальне аквапідурочище заглибин ложа озерної улоговини на піщанистому та вапняковому сапропелі, що підстеляється крейдо-мергельними відкладами, зі збідненим видовим різноманіттям підводної рослинності.**

**Аквафації:** **3.1.** Профундальні, транзитні піщанисто-сапропелеві малопотужні (2,0-2,5 м), з вільно плаваючими водоростями та неоднорідним температурним режимом у літній період. **3.2.** Профундальні, транзитно-аккумулятивні та акумулятивні карстових западин вапняково-сапропелеві малопотужні (2,5-3,0 м), зі збідненим видовим різноманіттям підводної рослинності та неоднорідним температурним режимом у літній період. **3.3.** Профундальні, акумулятивні карстової лійки вапняково-са-

пропелеві малопотужні (3,0-4,0 м), що підстеляються крейдо-мергельними породами, зі збідненим видовим різноманіттям підводної рослинності та неоднорідним температурним режимом у літній період.

Цифрова ландшафтно-географічна модель (I) показала, що площа пелагіального аквапідурочища (рис. 4а) становить 1,766 га (78,56%). Саме на такій площі ПАК оз. Світле чітко проявляється термічна стратифікація у теплий сезон року – це приблизно з 15.04 по 15.10 календарного року. Винятки у хронологічних межах температурного режиму озера можуть бути пов'язані із затяжною зимою або початком ранньої зими.

Ландшафтометрична оцінка ПАК оз. Світле показала, що 42,84% площі займає літорально-субліторальне аквапідурочище із трьома видами аквафацій (табл. 3). На другому місці за площею (31,90%) посідає профундальне аквапідурочище, де також нами виокремлено три види аквальних фацій. Профундальне аквапідурочище уособлює три карстові лійки озерної улоговини; одна загальною площею 0,216 га, а інші дві, що показані одним ландшафтним віділом на карті, – 0,330 га (рис. 4в). Субліторально-профундальне аквапідурочище (25,27%) посідає проміжне місце в ландшафтній структурі ПАК, тут виділяється лише два види аквафацій. Слід зазначити, що в профундальному аквапідурочищі переважають в основному аккумулятивні ландшафтно-геохімічні процеси, а в субліторально-профундальному домінують транзитні. Більш детально ландшафтометрична характеристика ПАК озера наведена в табл. 3.

**Висновки з проведеного дослідження.** У роботі представлені дві ландшафтно-географічні моделі ПАК оз. Світле з урахуванням різних домінуючих підходів, зокрема провідної ролі температурного режиму та літолого-геоморфологічних чинників ПАК. Такого типу моделі важливі для потреб рекреації, рибництва на водоймах природного походження, а також для оцінки гідрофізичних процесів на малих озерах Українського Полісся в світлі глобальних та регіональних змін клімату. Явище термічної стратифікації оз. Світле є унікальним із точки зору нетиповості розташування на малій глибині металімніону для озер Волинського



Полісся. Вважаємо, що необхідним є продовження досліджень із батиметричного моделювання озер Волинського Полісся і вивчення явищ термічної стратифікації водойм за підтримки державних установ із гідрометеорології та екології.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ільїн Л.В. Лімнокомплекси Українського Полісся. Монографія: у 2-х т. Т.1: Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк: РВВ «Вежа» ВНУ ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.
2. Эдельштейн К.К. Лимнология: учеб. пособие для бакалавриата. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2017. 398 с.
3. Якушко О.Ф. Озероведение. География озер Белоруссии. Мн.: Выш. школа, 1981. 223 с.
4. Мартынюк В.А. Особенности термической стратификации природных аквальных комплексов озер Украинского Полесья // Академику Л.С. Бергу – 140 лет: сб. научн. статей. Бендеры: Есо-TIRAS, 2016. С. 422–425.
5. Мартинюк В.О., Зубкович І.В., Андрійчук С.В. Нові дослідження явища термічної стратифікації озер Волинського Полісся // Зб. тез учасників Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку вищої школи та економіки в ХХІ столітті». Рівне, 2018. С. 296–299.
6. Природно-заповідний фонд Волинської області (Огляд територій і об'єктів природно-заповідного фонду в розрізі районів) / упор. М. Химин та ін. Луцьк: Ініціал, 1999. 48 с.
7. Шпырка В.М., Панасюк В.Ф. Отчет геологической партии о работах проведенных в 1986-1990 гг. Ровно: РГРЭ ГПП «Севукргеология», 1990.
8. Гранично допустимі значення показників якості води для рибогосподарських водойм. Загальний перелік ГДК і ОБРВ шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм: № 12-04-11 чинний від 09.08.1990. К.: Міністерство рибного господарства СРСР, 1990. 45 с.
9. Мартинюк В.О. Ландшафтно-лімнологічний аналіз басейнової (озерної) геосистеми // Наукові записки Тернопільського державного педагогічного ун-ту. Сер. Географія. Тернопіль, 1999. № 2. С. 29–36.
10. Мартынюк В.А. Ландшафтная структура природного аквального комплекса озеро Белое (Волинское Полесье) // Актуальные проблемы современной геологии, геохимии и географии: Мат-лы междунаучно-практ. конф., Брест, 28–30 сент. 2011 г.: В 2 ч. Брест, 2011. Ч. 2. География, природопользование. С. 102–104.