

І. В. ЗУБКОВИЧ

Рівненський державний гуманітарний університет
вул. С. Бандери 12, м. Рівне, 33028, Україна

e-mail: zubkovych11@ukr.net ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0641-2204>

**ОСОБЛИВОСТІ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНОВОЇ СИСТЕМИ
ОЗЕРА ОЗЕРЯНСЬКЕ (ВОЛИНСЬКЕ ПОЛІССЯ)**

Мета. Розкрити особливості геоecологічного стану озерно-басейнової системи (ОБС) оз. Озерянське для потреб збалансованого природокористування.

Методи. Польові інструментальні, ландшафтно-геохімічні, геоінформаційні, лабораторно-аналітична діагностика проб ґрунтів, води та донних відкладів озера.

Результати. З'ясовано сучасний стан господарського освоєння водозбору оз. Озерянське. Представлено результати дослідження гідрохімічного складу води озера. Проаналізовано результати експериментів з визначенням вмісту та особливостей радіальної та латеральної міграції рухомих форм біогенних елементів (N , P_2O_5 , K_2O), важких металів (Co , Pb , Cd , Cu , Zn , Mn) на ландшафтній ґрунтово-геохімічній мікрокатені в межах водозбору озера. Зафіксовано незначне перевищення ГДК за вмістом Mn і Cd в ґрунтах мікрокатени. Особливістю латеральної міграції біогенних елементів є збільшення їх концентрації від елювіальної до супераквальної фації геохімічної мікрокатени, а радіальною – зменшення їх вмісту з глибиною ґрунтового профілю. Для рухомих форм важких металів (Co , Pb , Cd , Cu , Mn) характерною особливістю є радіальна міграція – підвищення їхнього вмісту з глибиною ґрунтового профілю в горизонті (20-40 см), а далі в напрямку до материнської породи їх концентрація переважно зменшується.

Висновки. Встановлено, що водозбір оз. Озерянське відноситься до антропогенно-природного (IV) типу та має незадовільний геоecологічний стан. Для покращення геоecологічного стану водозбору доцільно поступово збільшувати площі екостабілізуючих угідь (луки, ліси, кормові угіддя); контролювати норми внесення мінеральних добрив та використання пестицидів, а також заборонити розорювання земель 50-100-метрової прибережної захисної смуги навколо озера.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: озерно-басейнова система, просторо-типологічна структура угідь, ландшафтна мікрокатена, гідрохімічні показники, міграція хімічних елементів

Zubkovych I. V.

Rivne State University of Humanities, S. Bandery St., 12, Rivne, 33028, Ukraine

**THE PECULIARITIES OF GEOECOLOGICAL STATE OF THE LAKE-BASIN SYSTEM OF
OZERIANSKE LAKE (VOLYN POLESIA)**

Purpose. To reveal the peculiarities of geo-ecological status of the lake-basin system (LBS) of Ozerianske lake for the needs of a balanced nature management.

Methods. The research is based on methods of field instrumental landscape-geochemical searches using modern geoinformation technologies and laboratory-analytical diagnostics of soil, water and lake sediments.

Results. The current state of economic development of the catchment of Ozerianske lake has been clarified. The results of the research of the hydrochemical composition of lake water have been presented. The results of the experiments with the determination of the content and features of radial, lateral migration of mobile forms of biogenic elements (N , P_2O_5 , K_2O) and heavy metals (Co , Pb , Cd , Cu , Zn , Mn) on a landscape soil geochemical microcatena within the catchment area of a lake have been analyzed. A slight excess of MPC in the content of Mn and Cd in the soils of the microcatena has been fixed. The feature of lateral migration of biogenic elements is the increase of their concentration from the eluvial to the superequal facies of the geochemical microcatena, and the radial feature is the decrease of their content with the depth of the soil profile. Moving forms of heavy metals (Co , Pb , Cd , Cu , Mn) are characterized by radial migration - increasing their content with the depth of the soil profile in the horizon (20-40 cm), and further towards the parent rock, their concentration mainly decreases.

Conclusions. It was established that the catchment area of Ozerianske lake refers to the anthropogenic-natural (IV) type and has unsatisfying geo-ecological status. In order to improve the geo-ecological status of the catchment area, it is advisable to gradually increase the area of ecostabilizing lands (meadows, forests, forage areas); to control the application of mineral fertilizers and pesticide use, and to prohibit the plowing of land by a 50-100-meter coastal protective strip around the lake.

KEY WORDS: lake-basin system, spatial-typological structure of lands, landscape microcatana, hydro-chemical indices, migration of chemical elements.

Зубкович И. В.

Ровненский государственный гуманитарный университет, ул. С. Бандеры 12, г. Ровно, 33028, Украина

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БАСЕЙНОВОЙ СИСТЕМЫ ОЗЕРА ОЗЕРЯНСКОЕ (ВОЛЫНСКОЕ ПОЛЕСЬЕ)

Цель. Осуществить оценку геоэкологического состояния озерно-бассейновой системы (ОБС) оз. Озерянское и раскрыть особенности процессов миграции биогенных элементов, тяжелых металлов в почвах ландшафтно-геохимической микрокатены в пределах ОБС.

Исследование основывается на **методах** полевых инструментальных ландшафтно-геохимических поисках по использованию современных геоинформационных технологий и лабораторно-аналитической диагностики проб почв, воды и донных отложений озера.

Результаты. Выяснено современное состояние хозяйственного освоения водосбора оз. Озерянское. Представлены результаты исследования гидрохимического состава воды озера. Проанализированы результаты экспериментов с определением содержания и особенностей радиальной и латеральной миграции подвижных форм биогенных элементов (N , P_2O_5 , K_2O), тяжелых металлов (Co , Pb , Cd , Cu , Zn , Mn) на ландшафтной почвенно-геохимической микрокатене в пределах водосбора озера. Зафиксировано незначительное превышение ПДК по содержанию Mn и Cd в почвах микрокатены. Особенностью латеральной миграции биогенных элементов является увеличение их концентрации от элювиальной к суперкальвальной фации геохимической микрокатены, а радиальной – уменьшение их содержания с глубиной почвенного профиля. Для подвижных форм тяжелых металлов (Co , Pb , Cd , Cu , Mn) характерно преобладание радиальной миграции – повышение содержания элементов с глубиной почвенного профиля в горизонте (20-40 см), а дальше по направлению к материнской породе их концентрация преимущественно уменьшается.

Выводы. Установлено, что водосбор оз. Озерянское относится к антропогенно-природному (IV) типу и имеет неудовлетворительное геоэкологическое состояние. Для улучшения геоэкологического состояния водосбора целесообразно постепенно увеличивать площади экостабилизирующих угодий (луга, леса, кормовые угодья) контролировать нормы внесения минеральных удобрений и использование пестицидов, а также запретить распашку земель 50-100-метровой прибрежной защитной полосы вокруг озера.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: озерно-бассейновая система, пространственно-типологическая структура угодий, ландшафтная микрокатена, гидрохимические показатели, миграция химических элементов

Вступ

Сучасний геоекологічний стан більшості водозборів озер Українського Полісся формується під посиленням антропогенним тиском. Техногенне навантаження аграрного сектору та промисловості на довкілля призводить до інтенсивного привнесення як біогенних хімічних елементів (мінеральні добрива) так і важких металів (пестициди) до природних ландшафтних комплексів. Потрапляючи у навколишнє середовище близько 90% важких металів (ВМ) акумулюються у ґрунтово-рослинному покриві. В ґрунтах хімічні елементи мігрують з вертикальним та горизонтальним рухом ґрунтової вологи, включаються до біогеохімічного кругообігу (мігрують ланками трофічних

ланцюгів), що в свою чергу створює потенційний екологічний ризик для живих істот та людини зокрема [1], а біогенні елементи потрапивши у водне середовище – пришвидшують процеси евтрофікації водойм. З огляду на вище означене сьогодні важливою проблемою є дослідження процесів міграції хімічних елементів в межах басейнових систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після ухвалення Водної рамкової директиви ЄС [2], яка визначає основні принципи управління водними ресурсами та шляхи досягнення доброї якості води і безпечного стану водойм, особливої актуальності набули питання дослідження гео-

кологічного стану басейнових систем. Гео-екологічні дослідження ОБС ведуться багатьма українськими та зарубіжними вченими (С. Андрійчук, М. Борисов, М. Боярин, Б. Власов, Й. Гриб, Л. Ільїн, М. Клименко, І. Ковальчук, М. Ксенофонтова, Д. Лико, В. Мартинюк, М. Пасічник, В. Хільчевський, О. Якушко та інші). Наше дослідження ґрунтується на роботах з вивчення гео-екологічних проблем озерних систем Українського Полісся [3, 4], ГІС-моделювання агроландшафтів [5], оцінки латеральних та радіальних геохімічних процесів у межах водозборів річок [6] та озер [7], а також на власних ландшафтно-геохімічних пошуках у межах водозборів озер Волинського Полісся [8, 9, 10].

Мета – здійснити оцінку гео-екологічного стану ОБС оз. Озерянське та розкрити особливості процесів міграції біогенних елементів, важких металів у ґрунтах ландшафтно-геохімічної мікрокатени в межах водозбору.

Для реалізації поставленої мети визначені такі завдання:

- розкрити особливості просторово-типологічну структуру угідь ОБС водойми та визначити ступінь її господарського освоєння;
- здійснити гідрохімічну характеристику якості води озера;
- з’ясувати особливості міграції хімічних елементів в ґрунтах водозбору озера.

Об’єкти та методи дослідження

Об’єктом дослідження є басейнова система оз. Озерянське, а предметом – гео-екологічні процеси міграції хімічних елементів у межах ОБС. Дослідження проводилися в літні сезони 2018-2019 рр. у межах природно-територіальних комплексів (ПТК) водозбору озера, де переважають дерново-середньо- і сильнопідзолисті глеюваті супіщані та суглинкові ґрунти, дернові карбонатні ґрунти на елювії щільних карбонатних порід, торфово-болотні ґрунти та дерново-підзолисті вторинно насичені супіщані ґрунти.

Використовуючи польові матеріали, топографічні карти масштабу 1:10 000 (М-35-26-Г-в-3; М-35-26-Г-в-4), цифрову модель рельєфу (дані *SRTM*) у програмному середовищі *ArcMap 10.3* продукту *ESRI*, виділено поверхневий водозбір оз. Озерянське. На основі дешифрування космоснімків високої роздільної здатності та вибіркового польового дешифрування (з метою уточнення інформації в окремих випадках) [11] в програм-

ному середовищі *ArcMap 10.3* у межах водозбору, згідно з Класифікацією видів земельних угідь (КВЗУ) [12], виокремлено 14 типів земельних угідь (рис.1.б). У ході дослідження використовувались такі геоінформаційні операції як векторизація растрових зображень, перевірка топології та обчислення площ векторних об’єктів тощо.

За методикою [13], на схилі (6°) північно-західної експозиції водозбору, у межах орних угідь закладено ґрунтово-геохімічну мікрокатену (рис. 1. а) із чотирьох ґрунтових розрізів (далі ГР) у різних геохімічних фаціях (табл.1). Географічні координати ГР фіксували за допомогою GPS-навігатора *Garmin Oregon 650*. В ГР на різних горизонтах через кожні 20 см (від 5 до 60 см) відібрано за допомогою ріжучих циліндрів 3-повторностах (згідно ДСТУ 4287:2004) 36 зразків ґрунту та один зразок донних відкладів літоралі озера. З озера також відібрано воду (об’єм 4 дм³), відповідно до Інструкції з відбирання,

Таблиця 1

Схема закладання ландшафтно-геохімічної мікрокатени

Пункти відбирання зразків ґрунту	Тип ґрунту	Географічні координати (WGS 84)	Ландшафтна геохімічна фація
Ґрунтовий розріз № 1	дернові карбонатні на елювії щільних карбонатних порід	51°01'33.82" пн. ш., 24°48'41.08" сх. д	елювіальна
Ґрунтовий розріз № 2		51°01'34.25" пн. ш., 24°48'40.23" сх. д	транселювіальна
Ґрунтовий розріз № 3		51°01'34.80" пн. ш., 24°48'39.21" сх. д	елювіально-аккумулятивна (з процесами вимивання)
Ґрунтовий розріз № 4	торфово-болотні	51°01'35.06" пн. ш., 24°48'38.67" сх. д	супераквальна
Донні відклади (№ 5)	сапропель	51°01'35.72" пн. ш., 24°48'37.37" сх. д	субаквальна

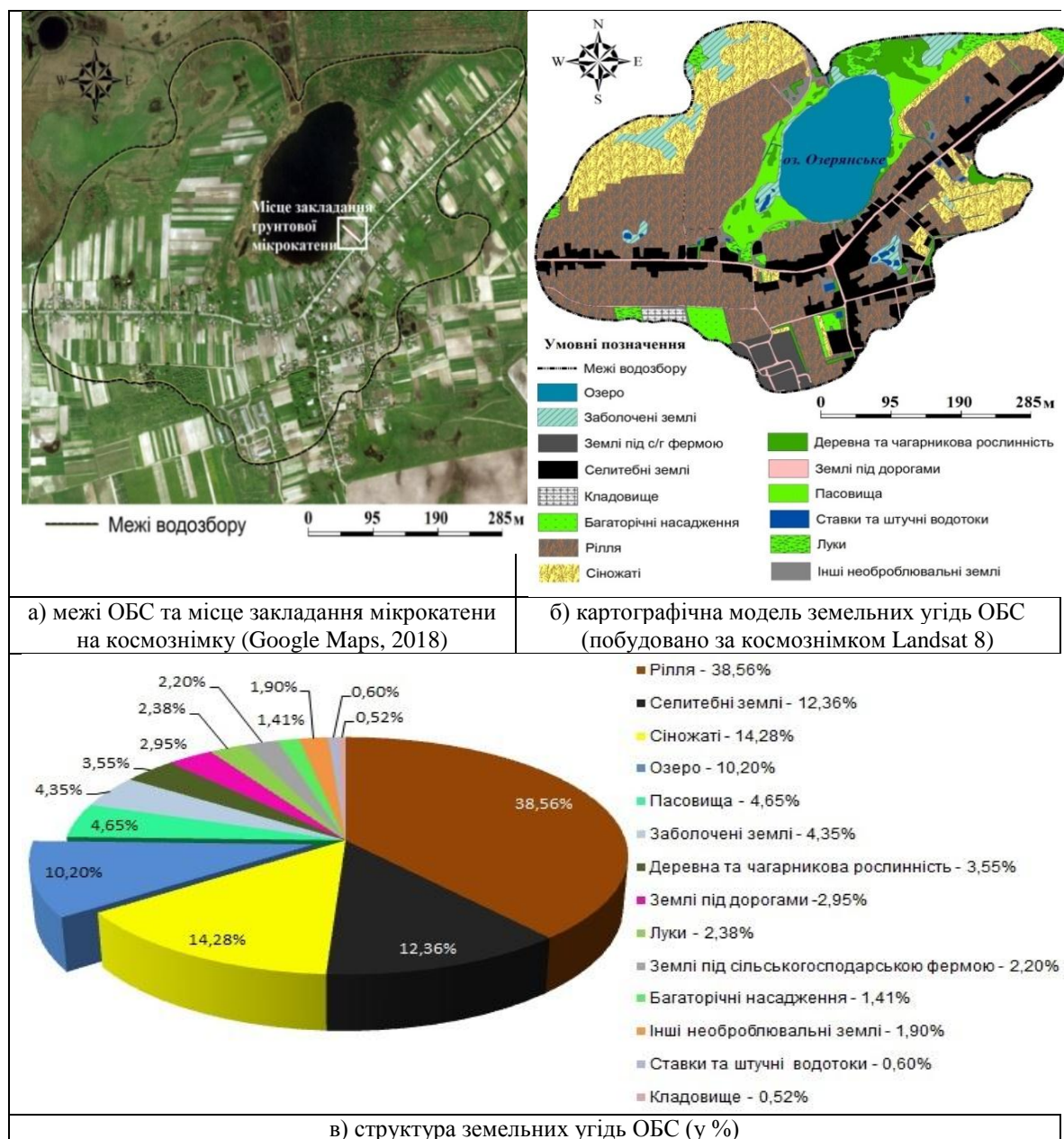


Рис. 1 – Модель просторово-типологічної структури угідь басейну оз. Озерянське

підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами, затвердженої Наказом ДСНС України № 30 від 19.01.2016 р. [14].

Гідрохімічні аналізи проб води виконані у сертифікованій лабораторії ДУ «Рівненський обласний лабораторний центр МОЗ України». Аналіз зразків ґрунту здійснювався у лабораторії Рівненської філії ДУ «Інститут охорони родючості ґрунтів». Вміст гумусу визначався за методом І.В. Тюріна (ДСТУ 4289:2004), вміст лужногід-

ролізованого азоту в ґрунті за методом Корнфільда, вміст фосфору та калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА (ДСТУ 4405:2005), показник рН сольової витяжки ґрунтового розчину за ДСТУ ISO 10390-2007. Лабораторна діагностика рухомих форм важких металів (далі ВМ) здійснювалася ацетатно-амонійним буферним розчином рН 4,8 (ДСТУ 4770.1-9:2007) [15]. Статистична обробка отриманого фактичного матеріалу здійснювалася стандартними програмами Microsoft Excel.

Результати дослідження

Озеро Озерянське (51°01'39" пн. ш., 24°48'31" сх. д.) розташоване у південно-західній частині фізико-географічної області Волинського Полісся й приурочене до Турійсько-Рожищенського ландшафтного району. Озеро стічне, з північної частини озера витікає каналізований струмок. Площа озера складає 0,17 км² (довжина – 0,62 км, максимальна ширина – 0,39 км), довжина берегової лінії озера – 1,63 км. Глибина озера коливається від 1,0 до 7,5 м. Площа водозбору – 1,73 км². Водойма є складовою Озерянського загальнозоологічного заказника площею 2736,0 га, який знаходиться у межах землеволодіння Озерянської сільської ради (1411,0 га) Турійського адміністративного району Волинської області. Головними землекористувачами є ДП «Турійське лісове господарство» (1325,0 га) та Радовичівське лісництво. Заказник утворений за рішенням Волинської обласної ради народних депутатів від 21.10.1991, № 226 [16].

Загальна структура використання земель водозбору виглядає так: *лісистість* (сумарна площа лісів, лісосмуг, деревної та чагарникової рослинності) – 3,55%; *природний стан угідь* (болота, землі зайняті водними об'єктами, ліси природного та штучного походження, захисні водоохоронні насадження, відкриті піски, заповідні території, пасовища, сіножаті, перелоги) – 41,4%; *сільськогосподарська освоєність* (рілля, багаторічні насадження, сінокоси, пасови-

ща, перелоги, присадибні землі) – 58,9%; *розораність* (рілля та присадибні землі) – 38,56%; *селитебні території* (площа земель, яка зайнята населеними пунктами, об'єктами промисловості, транспорту, зв'язку тощо) – 18,03%. Більш детально частка земельних угідь водозбору озера наведена на рис.1 в.

Коефіцієнт господарського освоєння $K_{ГО}$ водозбору визначали за методикою [8], як відношення площ антропогенно-трансформованих угідь ($S_{АТУ}$) до площ екостабілізуючих угідь ($S_{ЕСУ}$):

$$K_{ГО} = \frac{S_{АТУ}}{S_{ЕСУ}} = \frac{134,7073 \text{ га}}{39,0848 \text{ га}} = 3,44$$

де $S_{АТУ}$ – селитебні землі, дороги, землі під с/г фермою, орні землі, пасовища, сіножаті, перелоги, сади, ставки; $S_{ЕСУ}$ – ліси, луки, заболочені землі, водні об'єкти, відкриті піски та інші не оброблювальні землі.

Ступінь господарського освоєння водозбору ($K_{ГО}$): <0,1 – дуже низький, 0,1-0,25 – низький; 0,26-0,50 – середній; 0,51-0,75 – підвищений; 0,76-1,0 – високий; 1,1-1,5 – дуже високий, > 1,6 – надзвичайно високий.

Ступінь порушення геоecологічної рівноваги за співвідношенням АТУ:ЕСУ розраховували за допомогою модифікованої шкали (табл.2).

Таблиця 2

Модифікована шкала для оцінки геоecологічного стану водозборів озер [8]

Категорії	Тип водозбору (за Ф. Мільковим)	Питома вага угідь, % до їх сумарної площі		Геоecологічний стан
		АТУ	ЕСУ	
0	природний	≤ 5,0	≥ 95,0	еталонний
I		5,1-20,0	94,9-80,0	оптимальний
II	природно-антропогенний	20,1-40,0	79,9-60,0	добрий
III		40,1-55,0	59,9-45,0	задовільний
IV	антропогенно-природний	55,1-80,0	44,9-20,0	незадовільний
V	антропогенний	> 80,1	< 19,9	критичний

За критерієм співвідношення АТУ:ЕСУ водозбір оз. Озерянське характеризується незадовільним геоecологічним станом (відноситься до IV типу господарського освоєння, оскільки АТУ становить 77,53%, ЕСУ – 22,47%). Ступінь господарського освоєння водозбору є *надзвичайно високий* (3,44).

Важливою складовою в оцінці геоecологічного стану ОБС є гідрохімічна характеристика показників якості водойми. Аналіз води здійснювався за трьома блоками

показників: сольового складу, трофо-сапробіологічного та специфічними показниками токсичної дії (табл.3).

За вище наведеними показниками вода озера відповідає нормативам встановленим для води питного призначення для споживання людиною. Щодо нормативів встановлених для водойм рибогосподарського призначення нами зафіксовано перевищення ГДК за блоком специфічних показників токсичної дії: за показниками рухомих форм

Таблиця 3

Гідрохімічні показники оз. Озерянське (станом на 24.08.2018)

№ з/п	Показник	ГДК*	ГДК**	Результати аналізу
А. Показники сольового складу				
1	Сухий залишок, мг/дм ³	<300	≤1000	220,3
2	Хлориди, мг/дм ³	300	250	36,6
3	Сульфати, мг/дм ³	100	250	26,7
Б. Трофо-сапробіологічні показники				
1	Прозорість, м	>1,5	>1,0	3,5
2	pH	6,5-8,5	6,5- 8,5	7,0
3	NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	0,5	0,5	<0,05
4	NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	40	50	<6,65
5	NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	0,08	0,5	0,013
6	PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³	2,14	3,5	< 0,01
С. Специфічні показники токсичної дії				
1	Мідь (рухомі форми), мг/дм ³	0,001-0,01	1,0	0,007
2	Цинк (рухомі форми), мг/дм ³	0,01	1,0	0,015
3	Кадмій (рухомі форми), мг/дм ³	0,005	0,001	0,0014
4	Плюмбум (рухомі форми), мг/дм ³	0,01	0,01	0,004
5	Залізо загальне, мг/дм ³	0,1	0,2	0,16

*ГДК для водойм рибогосподарського призначення [17], **ГДК для води питної призначеної для споживання людиною [18].

міді (перевищення у 7 разів), рухомих форм цинку (у 1,5 рази), заліза загального (у 1,6 рази). Більш детально гідрохімічні характеристики озера наведені у табл. 3.

Наступним найважливішим етапом з оцінки геоecологічного стану ОБС є дослідження процесів міграції біогенних речовин, оскільки підвищений вміст останніх в донних відкладах та у воді спричиняє до швидких темпів евтрофікації водойми.

Агрохімічний аналіз ґрунтів ландшафтної мікрокатени водозбору озера показав, що вміст гумусу в дерново-карбонатних ґрунтах (ГР № 1, 2, 3) коливається від *дуже низького* (0,9%) до *дуже високого* (6,5%), а на торфо-болотних ґрунтах (ГР № 4) є *підвищенням* (горизонт 40-60 см – 3,9%) та *дуже високим* у горизонтах (0-20 см –14,3%, 20-40 см –5,6%). Нами зафіксовано високий вміст гумусу в горизонтах (0-40 см), що свідчить про формування техногенного та органосорбційного геохімічного бар'єру [1] у поверхневих шарах ґрунтів мікрокатени, який сприяє закріпленню ВМ. В донних відкладах озера також зафіксовано *дуже високий* вміст гумусу (14,1%). В усіх горизонтах мікрокатени прослідковується збільшення вмісту гумусу в напрямку від елювіальної (ГР № 1) до супераквальної (ГР № 4) геохімічної фації (рис. 2).

Реакція ґрунтового розчину в основному змінюється від *слаболужної* (ГР № 1) в горизонтах 0-20 см, 20-40 см – pH = 7,2-7,3) до *дуже сильнолужної* (ГР № 2) горизонт 40-60 см, pH = 8,6, а в донних відкладах – *середньолужна* pH = 7,9. Ґрунти мікрокатени мають високу буферність щодо підкислення. Більш детально зміну реакції ґрунтового розчину показано на рис.2.

Розглянемо особливості міграції рухомих форм біогенних хімічних елементів в ґрунтово-геохімічній мікрокатені (рис. 3). Встановлено, що в ґрунтах мікрокатени зменшення середнього вмісту рухомих форм біогенних елементів (мг/100 г) розташовуються у такій послідовності: $P_2O_{5(45,6)} > N_{(14,5)} > K_2O_{(6,1)}$.

Вміст легкогідролізованого азоту (N) в мікрокатені коливається в широких межах від *дуже низького* 2,5 мг/100 г до *високого* 63,8 мг/100 г, а в донних відкладах складає 12,9 мг/100 г (*низький*). Найбільше значення азоту зафіксовано у верхніх генетичних горизонтах (0-20 см, 20-40 см) усіх ГР, максимум виявлено в ГР № 4 (елювіально-аккумулятивна фація) – 63,8 мг/100 г (рис. 3). Спостерігається закономірність до зменшення концентрації рухомих форм N в нижчих горизонтах ґрунтового профілю. Особливістю латеральної міграції вмісту N.

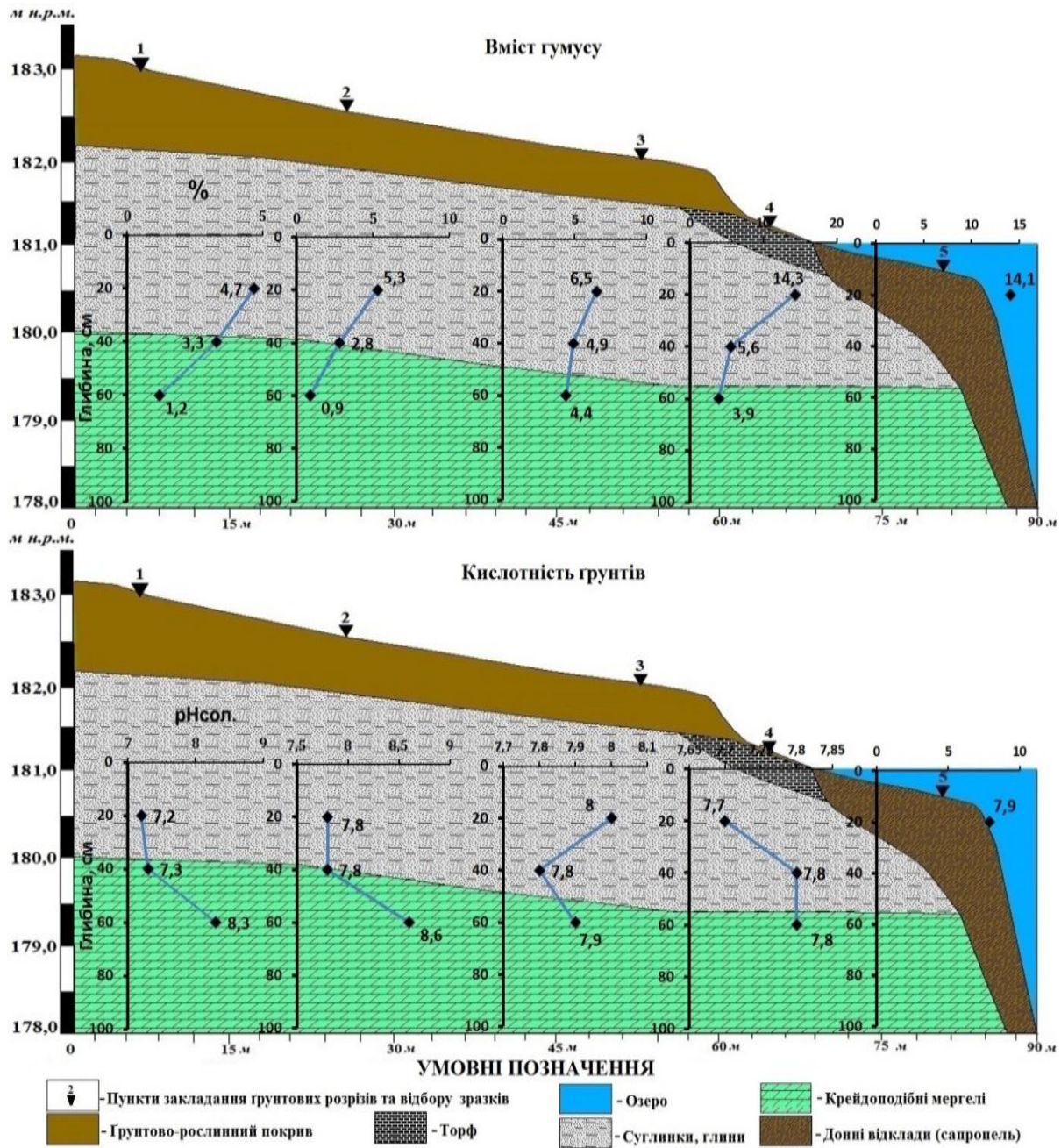


Рис. 2 – Модель ґрунтово-геохімічної мікрокатени водозбору оз. Озерянське, яка відображає вміст гумусу та реакцію ґрунтового розчину (pH_{sol}) на різних горизонтах

є збільшення його концентрації на усіх горизонтах (0-60 см) від елювіальної до супераквальної геохімічної фації мікрокатени.

Кореляційний зв'язок N з гумусом середній ($r = 0,73$), з фосфором ($r = -0,18$) та калієм ($r = -0,03$) – зв'язку практично немає; а з вмістом Cu ($r = -0,56$), Mn ($r = -0,58$), Cd ($r = -0,58$) – кореляція обернено середня.

Вміст фосфору (P_2O_5) в ґрунтах змінюється в інтервалі від середнього 8,8 мг/100 г до дуже високого 80,6 мг/100 г, а в донних відкладах складає 10,2 мг/100 г (підвищений). Максимальна концентрація фосфору виявлена в ГР №1 (0-20 см) – 80,3 мг/100 г та

ГР № 3 (0-20 см) – 80,6 мг/100 г. В ГР №1-3 (дерново-карбонатний ґрунт) концентрація P_2O_5 зменшується з глибиною ґрунтового профілю в напрямку до материнської породи, а в ГР № 4 (торфо-болотний ґрунт) навпаки спостерігається незначне підвищення його вмісту з глибиною від 23,8 до 32, 2 мг/100 г. Особливістю латеральної міграції вмісту P_2O_5 є збільшення його концентрації на усіх горизонтах (0-60 см) від елювіальної до елювіально-аккумулятивної геохімічної фації мікрокатени. Кореляційний зв'язок фосфору з калієм середній ($r = 0,58$).

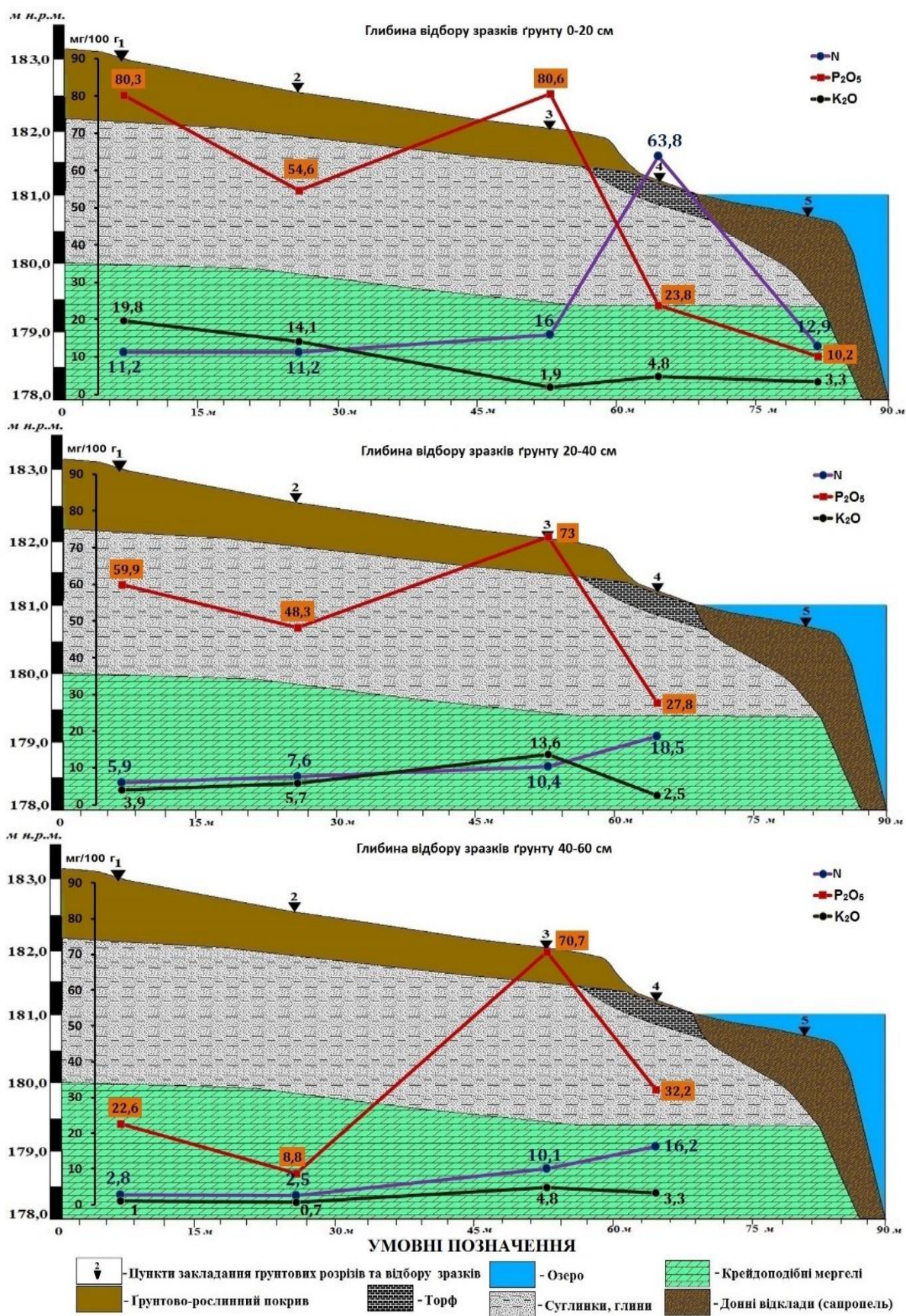


Рис. 3 – Модель ґрунтово-геохімічної мікрокатени водозбору оз. Озеряньське, яка відображає латеральну міграцію рухомих форм біогенних елементів (N, P₂O₅, K₂O) на різних горизонтах

Концентрація калію (K_2O) в ґрунтових зразках коливаються в діапазоні 0,7–19,8 мг/100 г, а в сапропелі озера складає 3,3 мг/100 г. Високий вміст K_2O зафіксовано в ГР №1 (0-20 см) – 19,8 мг/100 г. Вміст K_2O в усіх ГР геохімічної мікрокатени зменшується в напрямку до материнської породи. Особливістю латеральної міграції вмісту калію є збільшення його концентрації на горизонтах (20-60 см) від елювіальної до елювіально-аккумулятивної геохімічної фації мікрокатени. Встановлено середній кореляційний зв'язок калію з Zn ($r = 0,62$).

Особливе значення в оцінці геоекологічних процесів ОБС має міграції важких металів (рис. 4-5). Результати дослідження показали, що зменшення середнього вмісту рухомих форм важких металів в ґрунтах (мг/кг) мікрокатени розташовуються у такій послідовності:

$Mn_{30,46} > Pb_{3,36} > Zn_{1,49} > Co_{1,22} > Cu_{0,61} > Cd_{0,44}$.

Розглянемо більш детально особливості радіальної міграції рухомих форм Co , Pb , Cd у ГР геохімічної мікрокатени (рис. 4).

Розподіл вмісту рухомих форм Co у ГР знаходиться в межах від 0,18 до 2,0 мг/кг (при ГДК = 5,0 мг/кг), а в донних відкладах складає 0,39 мг/кг. Найвищий вміст Co зафіксовано у нижніх горизонтах ГР № 2 (20-40 см) – 2,0 мг/кг та №1 (40-60 см) – 1,91 мг/кг. Виявлено, що в усіх ГР з глибиною ґрунтового профілю концентрація вмісту Co збільшується (горизонт 20-40 см), а далі в напрямку материнської породи – зменшується. Виняток ГР № 1 в якому концентрація Co зростає від горизонту 0-20 см в напрямку аж до материнської породи. Вміст Co у всіх горизонтах мікрокатени корелює з вмістом гумусу ($r = -0,70$), Cu ($r = 0,94$), Pb ($r = 0,93$), Cd ($r = 0,94$) та в горизонті 0-20 см з Zn ($r = 0,92$).

Вміст рухомих форм Pb у ГР мікрокатени коливається в межах від 1,38 до 4,97 мг/кг (при ГДК = 6,0 мг/кг), а в донних відкладах озера становить 0,95 мг/кг. Найвищий вміст Co зафіксовано в ГР № 1 (0-20 – 3,88 мг/кг; 20-40 см – 4,97 мг/кг; 40-60 см – 4,2 мг/кг) та № 2 (0-20 см – 4,31 мг/кг; 20-40 см – 4,19 мг/кг; 40–60 см – 4,47 мг/кг). Вміст Pb у всіх горизонтах мікрокатени корелює з вмістом гумусу ($r = -0,75$), Cu ($r = 0,97$), Co ($r = 0,93$), Cd ($r = 0,98$) та в горизонті 0-20 см з Zn ($r = 0,85$).

Розподіл рухомих форм Cd у ґрунтових розрізах варіює у межах 0,13–0,73 мг/кг (при ГДК = 0,7 мг/кг), вміст в донних відкладах – 0,09 мг/кг. Підвищений вмісту Cd зафіксовано у нижніх горизонтах ГР № 1 (в горизонті 20-40 см – незначне перевищення ГДК 0,73 мг/кг; 40-60 см – 0,59 мг/кг), ГР № 2 (20-40 см – 0,61 мг/кг; 40-60 см – 0,65 мг/кг). Перевищення ГДК вмісту рухомих форм Cd у даному водозборі ми пов'язуємо з тим, що землевласник застосовує пестициди та мінеральні (фосфатні) добрива. Радіальний розподіл рухомих форм Cd в ГР мікрокатени має властивість до збільшення вмісту в горизонті 20-40 см, а далі у напрямку до материнської породи вміст Cd зменшується. Вміст Cd у всіх горизонтах мікрокатени корелює з вмістом гумусу ($r = -0,75$), Cu ($r = 0,95$), Co ($r = 0,94$), Pb ($r = 0,98$) та в горизонті 0-20 см з Zn ($r = 0,84$).

Розглянемо особливості радіальної міграції рухомих форм Cu , Zn , Mn у ГР ландшафтно-геохімічної мікрокатени (рис. 5).

Розподіл рухомих форм Cu у ґрунтових розрізах знаходиться у межах від 0,16 до 0,95 мг/кг (при ГДК = 3,0 мг/кг), а в донних відкладах озера складає 0,09 мг/кг. Найвищі показники вмісту Cu виявлено в ГР № 1 (20-40 см – 0,84 мг/кг, 40-60 см – 0,95 мг/кг), ГР № 2 (0-20 см – 0,87 мг/кг; 20-40 см – 0,83 мг/кг). В усіх ГР прослідковується підвищений вмісту Cu в горизонті 20-40 см у порівнянні з верхнім горизонтом (0-20 см), винятком є розріз №1 в якому збільшення вмісту Cu продовжується з глибиною ґрунтового профілю у напрямку до материнської породи. Вміст Cu у всіх горизонтах мікрокатени корелює з вмістом гумусу ($r = -0,74$), Co ($r = 0,94$), Pb ($r = 0,97$), Cd ($r = 0,95$) та в горизонті 0-20 см з Zn ($r = 0,89$).

Розподіл рухомих форм Zn у ґрунтових пробах варіює в межах від 0,32 до 6,65 мг/кг (при ГДК = 23,0 мг/кг), а в донних відкладах озера концентрація становить 0,46 мг/кг. Найвищий вміст Zn зафіксовано в ГР № 2 (0-20 см) – 6,65 мг/кг. Вміст Zn в усіх ГР мікрокатени концентрується у верхньому горизонті (0-20 см), а далі в напрямку до материнської породи його вміст зменшується. Вміст Zn в горизонті (0-20 см) корелює з вмістом Cu ($r = 0,89$), Co ($r = 0,92$), Pb ($r = 0,85$), Cd ($r = 0,84$) та в горизонті (20-40см) з Mn ($r = 0,96$).

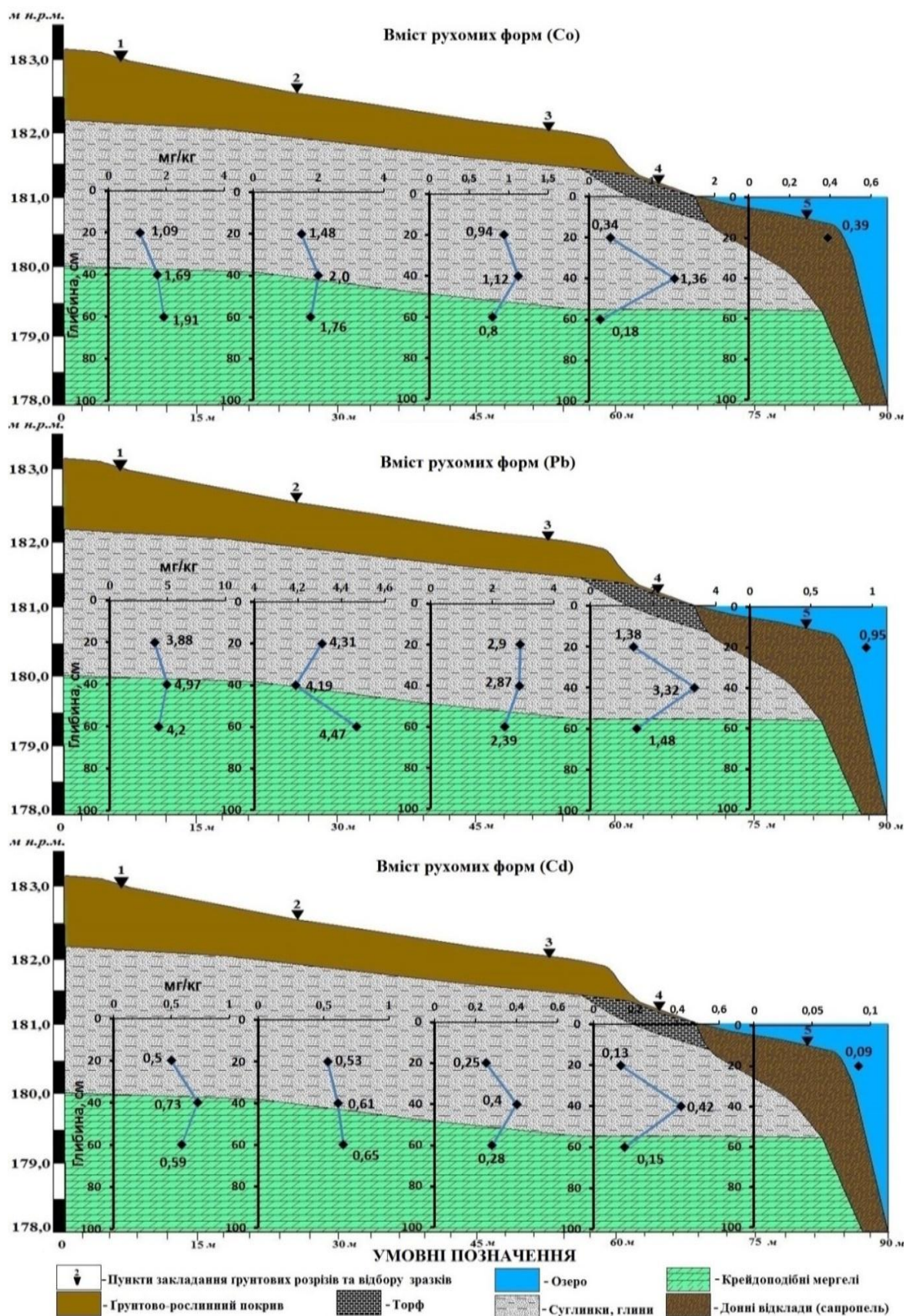


Рис. 4 – Модель ґрунтово-геохімічної мікрокатени водозбору оз. Озерянське, яка відображає радіальну міграцію рухомих форм важких металів (Co, Pb, Cd)

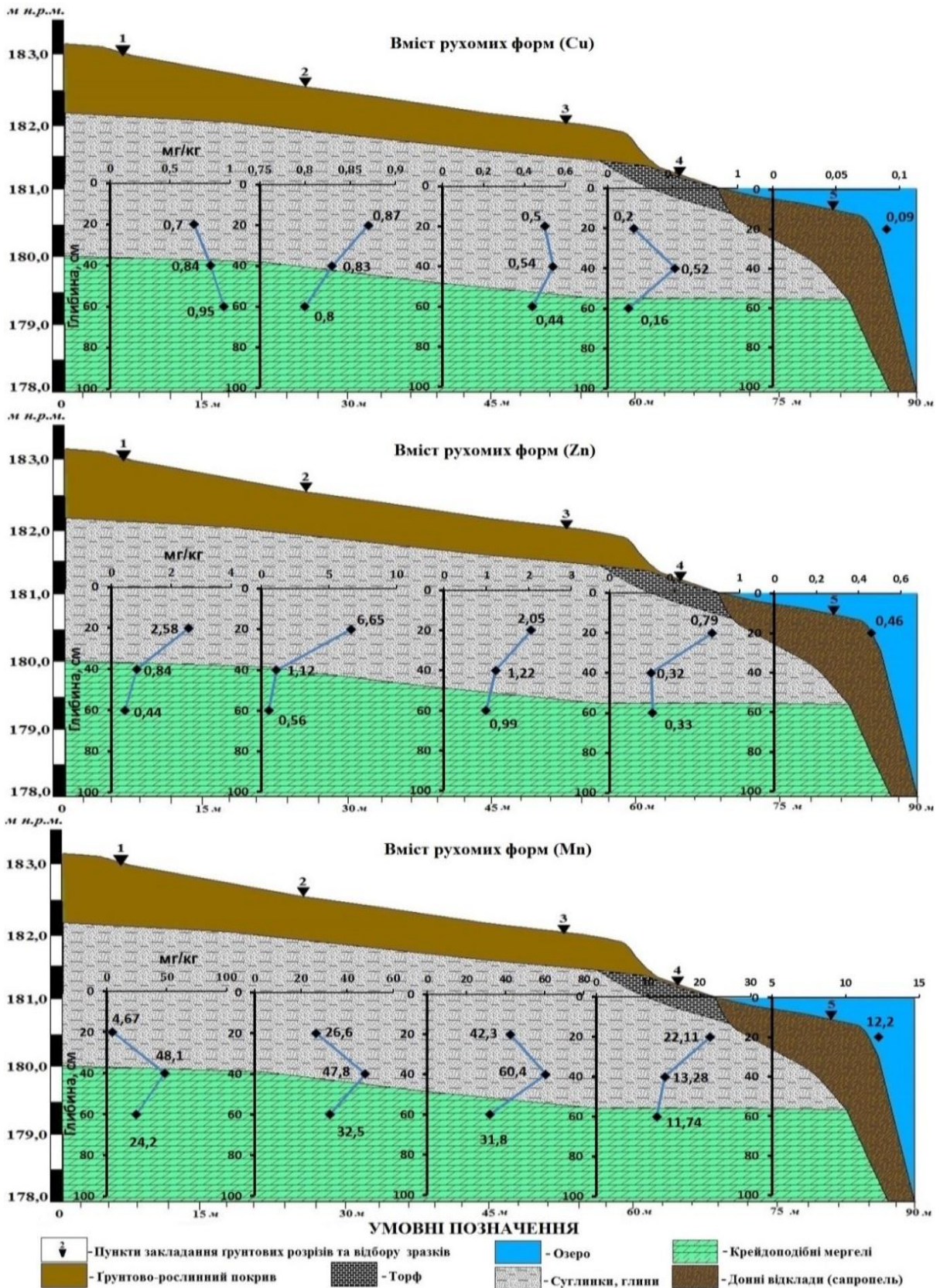


Рис. 5 – Модель геохімічної мікрокатени водозбору оз. Озеряньське, яка відображає радіальну міграцію рухомих форм важких металів (Cu, Zn, Mn)

Розподіл рухомих форм *Mn* у ґрунтових зразках варіює у досить широких межах від 4,67 до 60,4 мг/кг (при ГДК = 50,0 мг/кг), а вміст у донних відкладах становить 12,2 мг/кг. Перевищення ГДК вмісту *Mn* виявлено в ГР № 3 в горизонті (20-40 см) – 60,4 мг/кг. В усіх ГР зафіксовано підвищення вмісту *Mn* з глибиною ґрунтового профілю, максимум зафіксовано в горизон-

тах 20-40 см. Винятком є розріз № 4 в якому навпаки концентрація *Mn* зменшується в напрямку до материнської породи. На всіх ґрунтових горизонтах (0-20 см; 20-40 см, 40-60 см) спостерігається латеральна міграція *Mn* від елювіальної до елювіально-аккумулятивної фації мікрокатени. Вміст *Mn* в горизонті (20-40 см) мікрокатени корелює з вмістом *Zn* ($r = 0,96$).

Висновки

Встановлено, що водозбір оз. Озерянське відноситься до антропогенно-природного (IV) типу та має незадовільний геоекологічний стан (оскільки АТУ становить 77,53%, ЕСУ – 22,47%). Ступінь господарського освоєння водозбору є надзвичайно високий і відповідає коефіцієнту 3,44.

Результати хімічного аналізу ґрунтів в ландшафтно-геохімічній мікрокатені в межах водозбору озера показали, що зменшення середнього вмісту рухомих форм біогенних елементів в ґрунтах (мг/100 г) розташовуються у такій послідовності: $P_2O_{5(45,6)} > N_{(14,5)} > K_2O_{(6,1)}$. Спостерігається закономірність до зменшення концентрації рухомих форм *N*, P_2O_5 , K_2O в нижчих горизонтах ґрунтового профілю, виняток ГР № 4, де вміст фосфору (P_2O_5) навпаки збільшується. Особливістю латеральної міграції біогенних елементів є збільшення їх концентрації від елювіальної до супераквальної фації геохімічної мікрокатени. В донних відкладах зафіксовано підвищений вміст рухомих форм фосфору та азоту. В майбутньому будуть пришвидшуватися процеси заростання макрофітами літоральної частини водойми.

Результати хімічного аналізу ґрунтів показали, що зменшення середнього вмісту рухомих форм важких металів в ґрунтах (мг/кг) розташовуються у такій послідовності: $Mn_{30,46} > Pb_{3,36} > Zn_{1,49} > Co_{1,22} > Cu_{0,61} > Cd_{0,44}$. Зафіксовано в горизонті 20-40 см перевищення ГДК для рухомих форм *Cd* (ГР

№ 1 – 0,73 мг/кг) та *Mn* (ГР № 3 – 60,4 мг/кг). Встановлено на усіх горизонтах ґрунтового профілю мікрокатени дуже тісний кореляційні зв'язок рухомих форм ВМ: $Cu \leftrightarrow Co$, $Cu \leftrightarrow Pb$, $Cu \leftrightarrow Cd$, $Co \leftrightarrow Cd$, $Co \leftrightarrow Pb$, $Cd \leftrightarrow Pb$. Встановлено наступні закономірності радіального розподілу: 1) стосовно рухомих форм ВМ (*Co*, *Pb*, *Cd*, *Cu*, *Mn*) спостерігається підвищення їхнього вмісту з глибиною ґрунтового профілю в горизонті (20-40 см), а далі в напрямку до материнської породи їх концентрація переважно зменшується (на такий розподіл ВМ в ГР ймовірно впливає технічний обробіток ґрунту та у цілому промивний тип водного режиму дерново-карбонатних ґрунтів); 2) вміст рухомих форм *Zn* зменшується з глибиною ґрунтового профілю у напрямку до материнської породи. Особливістю латеральної міграції рухомих форм ВМ в мікрокатені на горизонтах (0-20 см, 20-40 см, 40-60 см) є переважно підвищення вмісту ВМ у напрямку від елювіальної до транселювіальної геохімічної фації мікрокатени.

Для покращення геоекологічного стану території водозбору доцільно поступово збільшувати площі екостабілізуючих угідь (луки, ліси, кормові угіддя), вести «жорсткий» контроль щодо норм внесення мінеральних добрив та використання пестицидів, а також заборонити розорювання земель 50-100-метрової прибережної захисної зони навколо озера.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Тітенко Г.В., Кулик М.І. Гумусовий горизонт міських ґрунтів як геохімічний бар'єр в урболандшафті. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* № 1-2, 2012. С. 130-136. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/933>

2. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12.2000. L 327/1-72. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF (дата звернення: 01.04.2020)
3. Ковальчук І., Лыко Д., Мартинюк В. Геоэкологические проблемы озерных систем Украинского Полесья. «WaterLand-2016»: 1 st International Scientific Conference, 06-12 June. Kaunas: Akademija, Lithuania, 2016. P. 44-47. URL: <https://docplayer.ru/45701622-International-scientific-conference-waterland-international-scientific-conference-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya.html>
4. Мартинюк В. О. Оцінка геоecологічного стану природно-антропогенної озерно-басейнової системи. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. 2018. №1. С. 137-146. URL: <http://geography.tnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/08/22.pdf>
5. Максименко, Н., Михайлова, К. Гіс-моделювання агроландшафтів для потреб ландшафтного планування. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2013, № 3-4, 94-104. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/1001>
6. Лико Д. В., Мартинюк В.О., Лико С. М., Осницька Н. О., Лисюк К. В. Геоecологічна оцінка міграції речовин у межах водозборів методом ґрунтових мікрокатен (на прикладі басейну річки Случ). Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Екологія. 2015. Вип. 13. С. 26-38. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/5532>
7. Мартинюк В. О. Моделювання процесів міграції речовин у басейнових геосистемах озер Волинського Полісся. Фізична географія та геоморфологія. 2012. Вип. 2 (66). С. 230-240.
8. Зубкович І., Мартинюк В., Андрійчук С. Оцінка геоecологічного стану басейнової системи озера Радожичі із застосуванням геоінформаційних технологій. Наук. вісник Східноєвропейського національного ун-ту імені Лесі Українки. Серія: Географічні науки. 2019. № 9 (393). С. 27-36.
9. Лико Д. В., Зубкович І. В., Мартинюк В. О., Лико С. М. Оцінка геоecологічних процесів у басейновій системі озера Острівське (Волинське Полісся). Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки». 2018. Вип. 2(82). С. 3-14.
10. Мартинюк В., Зубкович І., Андрійчук С. Оцінка геоecологічного стану озера Велике (Волинське Полісся). Наук. вісник Східноєвропейського національного ун-ту імені Лесі Українки. Серія: Географічні науки. 2018. № 10 (383). С. 38-45. URL: <http://esnuir.eenu.edu.ua/handle/123456789/15756>
11. Клещ А. А., Максименко Н. В., Понамаренко П. Р. Територіальна структура природокористування міста Харків. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. № 1-2 (27), 2017. С. 23-34. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/9168>
12. Про затвердження Порядку ведення Державного земельного кадастру (додатки 2-57 до Порядку. Додаток 4. Перелік угідь згідно з Класифікацією видів земельних угідь (КВЗУ) Редакція від 31.12.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051%D0%B1-2012-%D0%BF> (дата звернення: 25.03.2020).
13. Лико Д. В., Мартинюк В.О., Лико С.М., Портухай О.І., Зубкович І.В. Метод ґрунтового-геохімічних катен у дослідженнях водозборів Волинського Полісся. Монографія. Рівнен. держ. гуманітар. ун-т. – Рівне: О. Зень, 2019. 140 с.
14. Інструкція з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами. Затверджена Наказом ДСНС України від 19.01.2016 р. № 30. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16> (дата звернення: 25.03.2020).
15. ДСТУ 4770.1-9:2007 Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектроскопії. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 117 с. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=58849
16. Положення про загальнозоологічний заказник місцевого значення «Озерянський» Дата оновлення 20.02.2020. URL: <https://voladm.gov.ua/article/polozhennya-pro-zagalnozologichniy-zakaznik-miscevogo-znachennya-ozeryanskiy/> (дата звернення: 25.03.2020).
17. 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.
18. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: ДСанПін 2.2.4.-171-10. Київ, 2010. (Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010, № 400). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 01.03.2020)

References

1. Titenko, G. V. & Kulik, M. I. (2012). The humus horizon of urban soil as a geochemical barrier in the urban landscape. *Man and environment. Issues of neocology.* (1-2). 130-136. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/933> (in Ukrainian).

2. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. (2000). Official Journal of the European Communities 22.12.2000. 327/1-72. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF (in English).
3. Kovalchuk, I., Lyko, D. & Martyniuk, V. (2016). Geocological problems of lake systems of Ukrainian Polesie. *WaterLand - 2016: 1st International Scientific Conference*, June 6-12. Kaunas: Academy, Lithuania. 44–47. Retrieved from <https://docplayer.ru/45701622-International-scientific-conference-waterland-international-scientific-conference-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya.html> (in Russian).
4. Martyniuk, V. O. (2018). Evaluation of geo-ecologically existing natural-technogenic lake-basin system. *Scientific Records of the Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Geography. Ternopil*, (1), 137-146. Retrieved from <http://geography.tnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/08/22.pdf> (in Ukrainian).
5. Maksymenko, N. & Mykhailova, K. (2013). GIS-simulation of agricultural landscapes for the landscape planning. *Man and environment. Issues of neoecology*. (3-4), 94-104. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/1001> (in Ukrainian).
6. Lyko, D. V., Martyniuk, V. O., Lyko, S. M., Osnitskaya, N. O. & Lysyuk, K. V. (2015). Geocological assessment of migration of substances within catchments by soil microcatenos (on the example of the Sluch river basin). *Visnyk of the V.N Karazin Kharkiv National University Series Ecology*, 13, 26–38. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/5532> (in Ukrainian).
7. Martyniuk, V. O. (2012). Modeling of migration processes occurs in basin geosystems of Volyn Polissya lake. *Physical Geography and Geomorphology*, 2 (66). 230–240 (in Ukrainian).
8. Zubkovych, I., Martyniuk, V. & Andriichuk, S. (2019). An assessment of the geocological status of Radozhychi lake basin system using geoinformation technologies. *Visnyk of the East European Lesya Ukrainka National University. Series: Geographical Sciences*, (9 (393)), 27-36 (in Ukrainian)
9. Lyko, D. V., Zubkovich, I. V., Martyniuk, V. O. & Lyko, S. M. (2018). Evaluation of geocological processes in the basin system of Ostrovske Lake (Volyn Polissya). *Visnyk of the National University of Water and Nature Management. Agricultural Sciences Series*, 2 (82), 3-14 (in Ukrainian).
10. Martyniuk, V., Zubkovich, I. & Andriichuk, S. (2018). Estimation of the Geocological status of the Great Lakes (Volyn Polesie). *Science. Visnyk of the East European Lesya Ukrainka National University. Series: Geographical Sciences*, (10 (383)). 38–45. Retrieved from <http://esnuir.eenu.edu.ua/handle/123456789/15756> (in Ukrainian).
11. Klieshch, A. A., Maksymenko, N. V. & Ponomarenko, P. R. (2017). Territorial structure of nature management of Kharkiv city. *Man and environment. Issues of neoecology*. 27(1-2), 23-34. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/9168> (in Ukrainian).
12. On Approval of the Procedure for Maintaining the State Land Cadastre (Annexes 2-57 to the Procedure (2012). Annex 4. List of lands according to the Classification of Land Lands Types (CLPC) Revision dated 31.12.2019. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051%D0%B1-2012-%D0%BF> (in Ukrainian).
13. Lyko, D.V., Martyniuk, V. O., Lyko, S. M., Portukhai, O. I. & Zubkovych, I. V. (2019). *The method of soil-geochemical catenas in studies of catchments of Volyn Polesia*. Monograph. Rivne : Publisher O. Zen (in Ukrainian).
14. Instructions for sampling, preparation of water and soil samples for chemical and hydrobiological analysis by hydrometeorological stations and posts. (2016). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16> (in Ukrainian).
15. NSU. (2007). Soil quality. Determination of manganese mobile compounds content in soil in buffered ammonium-acetate extract with pH 4,8 by atomic-absorption spectrophotometry. DSTU 4770.1:2007. [Effective 2009-01-01]. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine. Retrieved from http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=58849 (in Ukrainian).
16. Regulations on the zoological reserve of the local value “Ozeriansky” (2019). Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/polozhennya-pro-zagalnozologichniy-zakaznik-miscevogo-znachennya-ozeryanskiy/> (in Ukrainian).
17. The marginal value of the indicator of water for the Ribodospodar waters (1990). *Zagalny lane GDK i OBRV shkidlivih rechinov for water and ribodospododskih waters: [No. 12-04-11 official code 09-08-1990]. K: Ministry of the Ribbon of the State of the USSR. 45. (in Ukrainian).*
18. State sanitary rules and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption"(2010): DSanPin 2.2.4.-171-10. Kyiv. (Order of the Ministry of Health of Ukraine of May 12, 2010, No. 400). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 24.04.2020

Прийнята 22.05.2020