

УДК 911.2:550.4

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІМНОСИСТЕМ

Л. Ільїн

*Волинський державний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43009, Україна*

Розглянуто геохімічні особливості донних відкладів озер Українського Полісся як головних типологічних показників процесів за певних ландшафтних умов. Від часу виникнення водойма є місцем нагромадження і формування різнотипних мінеральних речовин, склад яких, швидкість нагромадження й потужність залежать від ландшафтних особливостей водозбору й сукупності явищ, що відбуваються у водоймі. Діагностика і оцінювання стану лімносистем за допомогою ландшафтно-геохімічних методів із структурно-динамічною інтерпретацією даних важливі для прогнозування змін у водоймах за різних ступенів антропогенного впливу.

Ключові слова: геохімічні особливості, озеро, лімносистема, антропогенний вплив.

Одним із найважливіших завдань озерознавства (лімнології) є узагальнення нагромадженої інформації і створення відповідної теорії функціонування лімносистеми. Сучасний підхід до дослідження водойм уповільненого водообміну передбачає вивчення динамічних процесів їхнього існування в тісному зв'язку з процесами, що відбуваються на водозборі. В його основі – уявлення про водойму та її басейн як окрему геосистему (або екосистему), що дає змогу по-новому пояснити природу водойм, визначити найоптимальші варіанти використання, збереження й охорони їхніх ресурсів. Це означає, що водойму неможливо розглядати як щось однорідне та ізольоване. У її лімносистемі є чимало зв'язків, потоки речовини й енергії змінюють свої ознаки та інтенсивність. Тому водойма та її периферія – це напівзамкнена система, дієвий чинник ландшафтотворних процесів.

До комплексних характеристик природного середовища і його перетворення належать ландшафтно-геохімічні особливості, які визначають закономірності диференціації речовини й можливості її міграції в геосистемах. Дослідження міграції речовини набуває особливого значення в перетворених лімносистемах, де активно взаємодіють її природна й антропогенна складові. Необхідним є детальне вивчення поведінки речовини в різних станах лімносистем та порівняння їх з технолімносистемами. Особлива увага географів до розвитку лімносистем зумовлена тим, що на підставі їхнього пізнання можливі різноманітні географічні прогнози, потреба в яких назріла з огляду на дедалі більший антропогенний вплив та значну частку водойм уповільненого водообміну в Україні (2,09 % території).

Озерні відклади – це складні об'єкти, склад і властивості яких залежать від якісного та кількісного поєднання речовин. У хімії донних відкладів ще й досі багато проблем не вирішено. Зокрема, немає методичних рекомендацій, які регламентували б умови виконання окремих стадій досліджень і допомагали доповнювати результати, одержані в різних наукових установах.

Ландшафтно-геохімічні дослідження дають змогу виділяти і деталізувати індикаційні геохімічні показники стратотипових розрізів та суміжних горизонтів, визначати місце осадоагромадження у озерах в загальному ході розвитку природного середовища. Детальна геохімічна характеристика природних і техногенних процесів потрібна для прогнозування змін навколишнього середовища. Головна мета досліджень, виконаних за міжнародними програмами (Проект № 324 “Літопис глобальних палеоумов навколишнього середовища в озерних системах: глобальна лімнологія”, проект № 158 “Палеогідрогеологічні зміни в помірній зоні за останні 15 тис. років” і проект № 219 “Порівняльна озерна седиментологія в просторі і часі”) – об’єднання зусиль науковців, які вивчають проблеми давніх і сучасних озерних басейнів з метою визначення нових критеріїв та удосконалення методики використання геохімічних показників для з’ясування стійкості лімнічної системи до зовнішнього впливу. Такі дослідження є частиною теми Волинського державного університету імені Лесі Українки (номер державної реєстрації 0103U000658).

Ландшафтно-геохімічні дослідження лімносистем описано в працях зарубіжних дослідників [4, 9, 10, 14, 16].

Ми мали на меті виконати комплексне геохімічне дослідження складу донних відкладів Українського Полісся як одної з важливих типологічних ознак озерних процесів за певних ландшафтних умов, головну увагу приділивши вивченню хімічного складу золи (Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5 , $\text{S}_{\text{заг}}$, $\text{N}_{\text{заг}}$, K_2O та ін.).

Мінеральні й органічні речовини в озері розміщені на різних глибинах улоговини (це залежить від розмірів частинок, динаміки водної маси тощо). Донні відклади, їхній хімічний і біологічний склад, характер поширення, потужність відображають загальний напрям балансу речовини й енергії озера і є його кінцевим продуктом [16].

Дані загального вмісту компонентів дають змогу простежити зміни складу за площею і розрізом озерних відкладів, оцінити сапропелеві та інші корисні копалини, визначити шляхи їхнього практичного використання.

Седиментаційно-діагенетичні процеси формування відкладів, їхній склад і поширення відображають загальність природних процесів у межах досліджуваного регіону. Роль фізико-географічних чинників в озерному седиментогенезі гумідної зони неодноразово розглядали М.М. Страхова [14], М.І. Семенович [11], Л.Л. Россолімо [10] та ін. Важливі чинники, що контролюють озерне нагромадження відкладів, – географічне положення озера, глибина розчленування рельєфу, літологічна основа покривних порід водозбору, інтенсивність сучасних геоморфологічних процесів, тектонічний режим. Г.І. Горецький [3] зазначив, що геологічна, геоморфологічна, палеопотамологічна, широка палеогеографічна успадкованість в антропогені й неогені обов’язково супроводжувалися глибоким геохімічним успадкуванням.

Важливим геохімічним показником для озер (особливо південної частини помірного поясу) є процес карбонатонагромадження та розподіл карбонатних відкладів. Їхній вміст у різних типах відкладів відрізняється та відображає специфічні риси водозборів і внутрішні лімнічні особливості водойм.

На підставі аналізу фактичних матеріалів з’ясовано поширення карбонатних відкладів з урахуванням їхнього залягання в сучасному шарі озер. Це дає змогу виявити зв’язок озерної седиментації з характером водозборів, рельєфом, гідрографічною мережею, конкретизувати роль джерела речовини як чинника карбонатонагромадження.

Потужність шару карбонатних відкладів слугує показником відносної стабільності режиму водойми і ландшафтно-геологічних умов її водозбору. Зменшення карбонатона-

громадження іноді пов'язане зі зміною водного режиму, посиленням евтрофування (нагромадження органічної речовини у відкладах), зменшенням карбонатної речовини внаслідок зменшеного надходження карбонатного матеріалу, підкислення середовища, заболочування, притоку алохтонної гумусової речовини та інших причин.

У донних відкладах озер вміст карбонатів не перевищує 10 %, хоча простежуються відклади з підвищеним вмістом карбонатів – до 35% (CaO). Тому помітне збільшення вмісту карбонатів у відкладах є важливим типологічним показником, а також своєрідним індикатором літології водозбору.

Як відомо, у бореальну епоху голоцену в умовах сухого теплого клімату в озерах Європи переважав карбонатний тип седиментації. До того був етап нагромадження піщано-глинистих відкладів пізнього плейстоцену. Наприкінці атлантичної епохи карбонатний фон озера нагромадження відкладів змінився на орґано-силікатний [4]. Причина зміни – зволоження клімату, а в субатлантичний час – похолодання. Безперечно, сучасне активне евтрофування озер порівняно з раннім голоценом також не може стимулювати карбонатагромадження.

Проте в багатьох вивчених водоймах за певних умов нагромаджуються відклади, що мають підвищений (понад 20 %) вміст CaO (озера Гривенське, Неретва, Ухо). Деталі водойми мають карбонатний фон седиментації в окремих ділянках улоговини. Їх можна зачислити до озер-карбонатагромаджувачів (наприклад, озера Ухо, Неретва, Туричанське, Болотне, Ягодинське).

Характер карбонатної системи відповідає певному типу озера. Водночас в одному і тому ж озері карбонатна рівновага може зміщуватись, залежно від сезонної мінливості температури, режиму вуглекислого газу у водному середовищі. Коливання вмісту вуглекислого газу в різні сезони року відображають інтенсивність розвитку життя в озері, процесів фотосинтезу, нагромадження і розкладу органічної речовини. Важливими є морфологічні особливості озерних улоговин, значення і стійкість гіполіміюну, умови насичення водної маси киснем та ін.

Під впливом цих чинників в озерах формуються зони карбонатуотворення, розчинення й нагромадження кальцію. Зона карбонатуотворення стала у верхніх шарах чистих водойм, де стабільність гідрохімічних умов і порівняно слабкий розвиток органіки забезпечують стійкість карбонатно-кальцієвої системи протягом року. В таких озерах за достатнього надходження карбонатного матеріалу можлива стабілізація CaCO₃ в донних відкладах.

Для озер-карбонатагромаджувачів мілководної зони характерні певні види макрофітів, зокрема харових, які вкриті твердою інкрустацією кальцію, під час висушування перетворюються на пухку білу речовину (озера Пісочне, Болотне, Озерянське, Пересіка).

Осадовій товщі озер Ухо, Чорне Велике властиве інтенсивне карбонатуотворення, озер Прибич, Гривенське – ранньоголоценове, озер Неретва, Охнич – переривчасте накопичення карбонатних відкладів.

Аналіз поширення карбонатних відкладів свідчить, що в межах досліджуваної території наявні озера двох типів. До першого належать водойми сучасним карбонатагромадженням, до другого – озера, у яких сучасного біохомогенного утворення карбонатів не відбувається, а карбонатна речовина з водозбору надходить нестабільно. Для цих озер характерні висока біопродуктивність, різкі сезонні коливання вуглекислого газу й гідрокарбонату кальцію у водній масі.

На території є також озера, у сучасних відкладах яких зафіксовано підвищений вміст

заліза. Як компонент озерного середовища залізо характеризує всі стадії і стани водойми, зокрема, особливості складу речовини, що надходить, лужно-кислотні й окисно-відновні властивості, просторові й часові зміни процесів седиментації та діагенезу.

Як свідчить аналіз літератури [1, 7–12, 15, 16] в озерах, що відрізняються ландшафтно-геохімічними і морфологічними умовами, є широкий діапазон седиментації й діагенетичного перетворення залізного матеріалу з появою нових мінеральних фаз та асоціацій.

Техногенна евтрофікація водойм передбачає, що в циклічному перетворенні беруть участь усі компоненти озерного середовища. Участь заліза в кругообігу фосфору і сірки – актуальна проблема в разі вивчення стану озер та озерних вод, їхньої охорони й використання.

Формування відкладів з підвищеним вмістом заліза найбільше характерне для мезотрофних озер з високим вмістом кисню протягом року. Залізисті відклади, здебільшого, концентруються в літоральній і субліторальній зонах, іноді – у профундалі озер. У стратифікованих водоймах зміна умов середовища сприяє заміні тривалентного заліза двовалентним.

Залізо є в усіх озерах території. Проте його вміст, форми й можливість нагромадження відрізняються.

До озер із залізистими відкладами зачислено водойми, у яких вміст Fe_2O_3 становить понад 7%, тобто перевищує кларкове число. Із вивчених озер до цього типу належать лише три – Тур (13,8%), Люб'язь (12,0%) та Оріхове (7,6%) [5].

Геохімічні властивості фосфору як важливого біогенного елемента зумовлені його здатністю контролювати усталену під час седиментації відкладів динамічну рівновагу між водною фазою та відкладами, стан екосистеми і процеси евтрофікації водойми. Зі збільшенням продуктивності озера в ньому нагромаджується органічна речовина; розвивається відновне середовище, збільшується кількість рухомих форм фосфору у відкладах, зростає можливість його міграції з дна у водну масу [4]. Отже, озерні відклади є чинником вторинного забруднення водойм.

Вміст фосфору у відкладах досліджених водойм коливається в межах від сотих відсотка до кількох відсотків. Концентрація фосфору зростає від пісків літоральної зони (0,05%) до глибоких пелагіальних відкладів (0,50%). Розрізняють поля з низькими й високими концентраціями фосфору [17].

Для геохімії фосфору в озерній седиментації характерна динамічність балансу форм елементів залежно від фізико-хімічних умов і морфогенетичних особливостей озерної улоговини. Глибоководні ділянки з порівняно сповільненим гідродинамічним режимом придонного шару найсприятливіші для нагромадження сполук фосфору. Це зафіксовано в разі зіставлення форм у пелогені мілководних субліторальних і глибоководних пелагіальних відкладів.

Седиментація й діагенез сірки – один з етапів геохімічного циклу сірки, що приводить до виведення розчинних сульфатів і поховання сірки у відкладах. Важливість такого дослідження зростає з огляду на проблеми екології і вплив діяльності людини на глобальні біогеохімічні процеси [2].

Сульфідоутворення чітко приурочене до фаціальних умов нагромадження органічної речовини й пов'язане з відкритістю системи щодо атмосферного кисню і розчинної сірки. Все це дає змогу використовувати сірку як індикатор.

Кругообіг сірки у водоймах практично не вивчений, дані щодо прісноводних озер гумідної зони поодинокі. Останнім часом активізувалися дослідження бактеріальної сульфат-редукції на мікробіологічній основі, що значно розширило уявлення про масштаби цього процесу в прісноводному середовищі [18].

Для вивчених озер характерна властивість нагромаджувати відклади, яка зумовлює інтенсивний біохімічний кругообіг сірки в них. Передумовою вивчення геохімії сірки є склад органічної маси озерної седиментації з участю білково-протеїнових сульфатовмісних сполук, замкненість озерних систем, обмежений контакт з киснем у разі постійного надходження сульфатів у середовище нагромадження відкладів.

Середній вміст сірки для відкладів різного походження становить приблизно 1,25% (на суху речовину). Діапазон коливань – від 0,10 (оз. Ягодинське) до 4,16% (оз. Тур) – свідчить про різноманітність умов її акумуляції (див. таблицю). Переважний вміст сірки становить 1,0–1,5%, аномальні значення (понад 2%) трапляються зрідка [6].

Розподіл сірки у відкладах досить стабільний і закономірно пов'язаний із вмістом у них органічної речовини. Найбільше її в органічних сапропелах.

Хімічний склад та поєднання головних компонентів індивідуальні для кожного типу відкладів (див. таблицю). Це важливо в разі вивчення відкладів у просторово-часовому аспекті, і дає змогу не лише відновити зміни природних умов, а й пояснити шляхи надходження й перетворення речовини.

Межі коливань вмісту хімічних компонентів у відкладах озер,
% на суху речовину

| Озеро | Зольність | CaO | Fe ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | S _{заг} | N _{заг} |
|------------|-----------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Гривенське | 31,0–66,0 | 2,75–31,50 | 2,04–7,53 | 0,31–2,83 | 0,01–0,25 | 0,91–4,65 | 0,98–3,67 |
| Неретва | 24,0–52,0 | 3,44–35,22 | 0,55–15,38 | 0,25–5,52 | 0,05–0,16 | 0,33–2,41 | 0,98–2,77 |
| Охнич | 15,0–53,0 | 1,05–2,96 | 1,09–3,14 | 0,05–0,27 | 0,10–0,89 | 1,08–1,39 | 1,85–4,57 |
| Піщанське | | | | | | | |
| Велике | 27,0–51,0 | 1,40–23,57 | 0,97–9,77 | 0,18–0,83 | 0,05–1,08 | 1,13–2,41 | 1,10–5,89 |
| Прибич | 7,0–46,0 | 1,27–5,03 | 0,23–2,72 | 0,07–1,27 | 0,02–0,68 | 0,33–1,98 | 1,36–4,52 |
| Скомор'є | 19,0–38,0 | 2,36–3,94 | 1,64–3,93 | 0,12–0,22 | 0,07–0,49 | 1,63–3,10 | 1,81–4,57 |
| Тросне | 28,0–55,0 | 1,77–3,78 | 1,72–3,21 | 0,10–0,38 | 0,17–0,56 | 0,78–2,09 | 1,66–3,10 |
| Ухо | 32,0–57,0 | 15,75–34,38 | 0,31–3,91 | 0,09–0,57 | 0,05–0,90 | 0,67–2,94 | 0,04–2,70 |
| Чорне | | | | | | | |
| Велике | 31,0–70,0 | 9,27–23,57 | 0,39–2,66 | 0,12–0,30 | 0,06–0,43 | 0,61–1,81 | 1,02–3,95 |

Озерна водойма в межах басейну є базисом акумуляції. Від виникнення озеро є місцем нагромадження і формування різнотипних мінеральних та органічних речовин, склад яких, швидкість нагромадження, потужність залежать від ландшафтних особливостей водозбору й сукупності явищ, що відбуваються в озері.

Отже, зміни в процесах нагромадження відкладів зумовлені надходженням в озера мінеральних та органічних речовин, тобто збільшенням вмісту у воді біогенних елементів, швидкості й характеру нагромадження відкладів. Зміни, які відбуваються в озері внаслідок антропогенного впливу, залежать від речовини, яка надходить, її кількості й тривалості впливу, а також від природних особливостей кожної водойми, зокрема, від трофічного рівня. Суттєвими є розміри й форма улоговини, глибини озера, особливості водообміну й водної динаміки. У донних відкладах озер відображено всі зміни, які відбуваються в ландшафтах водозбору: збільшення частки ріллі, внесення орга-

нічних і мінеральних добрив у ґрунт, заболочування, меліоративні заходи та скиди забруднених вод.

Регіональні ландшафтно-геохімічні показники є важливою характеристикою донних відкладів озер і достовірним критерієм порівняння ступеня їхнього антропогенного забруднення. Дослідження, які ґрунтуються на вивченні геохімічних та інших особливостей нагромадження відкладів в озерах дають змогу за непрямыми показниками вивчати речовинну взаємодію, закономірності функціонування й динаміку лімносистем. З'ясування ритмічності та напрямів у зміні геохімічних допомагає у прогнозуванні, потрібне для обґрунтування принципів боротьби з антропогенною евтрофікацією водойм та розробки оптимальних умов перетворень на водозборах. Діагностика й оцінювання сучасного стану лімносистем з використанням ландшафтно-геохімічних методів та структурно-динамічної інтерпретації даних дають змогу прогнозувати можливі зміни водойм за різних ступенів антропогенного впливу та мінімізувати негативні впливи техногенезу на лімносистеми.

-
1. Блажчишин А.И. Баланс железа, марганца и фосфора в Балтийском море // Геологическая история и геохимия Балтийского моря. – М., 1984. – С. 142–153.
 2. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека. – М., 1983. – 210 с.
 3. Горещкий Г.И. Палеогеографическая основа геохимических исследований кайнозойских отложений Белоруссии // Геохимическое изучение гиперсферы. – Минск, 1977. – С. 44–52.
 4. Жуховицкая А.Л., Генералова В.А. Геохимия озер Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1991. – 204 с.
 5. Ильин Л.В. Голоценовые озерные отложения Украинского Полесья // Третье Всеросс. совещ. по изучению четвертичного периода: В 2 т.: Сб. материалов. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – Т. 1. – С. 91–94.
 6. Льїн Л.В. Геохімічні особливості донних відкладів озер Полісся України // Агрохімія і ґрунтознавство. – Харків; Луцьк, 2002. – Кн. 4. – С. 89–98.
 7. Кротов Б.П. Типы пресных озер и образующиеся в них руды // Доклады АН СССР. – 1950. – Т. 71. – № 5. – С. 26–33.
 8. Лопотко М.З., Евдокимова Г.А., Пунтус Ф.А. Физико-химические свойства сапропелевых лечебных грязеперспективных месторождений // Вопр. курортологии. – 1978. – С. 45–50.
 9. Россолимо Л.Л. Материалы к познанию седиментации озерных отложений // Тр. Лимнол. станции в Косине. – 1937. – Вып. 21. – С. 98–103.
 10. Россолимо Л.Л. Озерное накопление кремния и его типологическое значение. – М., 1971. – 140 с.
 11. Семенович Н.И. Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах // Тр. лаб. озероведения. – М.; Л., 1966. – С. 122.
 12. Страхов Н.М. О значении современных озерных и лагунных водоемов для познания процессов осадкообразования // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1945. – № 1. – С. 74–79.
 13. Страхов Н.М. Железородные фации и их аналоги в истории Земли // Тр. ИГН АН СССР. Сер. геол. – 1947. – Вып. 73. – № 22. – С. 28–34.
 14. Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М и др. Образование осадков в современных водоемах. – М., 1954. – 180 с.
 15. Штеренберг Л.Е. Осадконакопление и диагенез в озерах северной гумидной зоны (на примере Европейской части СССР): Афтореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. – М., 1979. – 45с.
 16. Якушко О.Ф. Белорусское Поозерье: История развития и современное состояние озер Северной Белоруссии. – Минск: Вышэйшая школа, 1971. – 336 с.

17. *Ilyin L.* Geochemical peculiarities of bottom sediments in polytypic lakes of Ukrainian Polissya // *Limnological Review*. – № 2. – 2002. – P. 155–163.
18. *Iorgensen B.* Mineralization of organic matter in the sea bed: The role of Sulfatrometry // *Sci/Sol*. – 1986. – № 1. – P. 87–93.

LANDSCAPE-GEOCHEMICAL ASPECTS OF INVESTIGATION LIMNOSYSTEMS

L. Ilyin

*Lesya Ukrainka Volyn State University,
Voli Prosp., 13, UA – 43 009 Luck, Ukraine*

Geochemical peculiarities of bottom lake sediments of Ukrainian Polissya are examined as the main typological indexes of the processes in the certain landscape conditions. Since its appearance a water body is a place of accumulation and formation of mineral substances of different type. Its contents the speed of accumulation, power are combined with landscape peculiarities of watershed and with combination of the phenomena which occur in a water body. Diagnostics and evaluation of the condition of limnosystems based on the landscape-geochemical methods with the following structural-dynamical interpretation of the interpretation data is important for the prognosis of the changes of water bodies on different stages of anthropogenic influence.

Key words: geochemical peculiarities, lake, limnosystem, anthropogenic influence.

Стаття надійшла до редколегії 09.06.2005
Прийнята до друку 22.06.2005