
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ Й ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЗЕРНОЇ СЕДИМЕНТАЦІЇ В УМОВАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Ільїна О. В., Ільїн Л. В.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-654-6-21>

ВСТУП

Озера Українського Полісся є важливими складовими ландшафтів і характеризуються специфічними умовами нагромадження донних відкладів. У межах водозбірної басейну вони є місцем акумуляції органічного й теригенного матеріалу, який надходить з поверхневими й підземними водами. У водоймі відбуваються складні хіміко-біологічні процеси, які визначають сучасний озерний седиментогенез. Озерна водойма з часу утворення є місцем формування й акумуляції різноманітних за складом донних відкладів. Нагромадження озерних відкладів є кінцевим результатом складних процесів перетворення й переміщення речовини та енергії у системі «водозбір – озеро».

Озера регіону як елементи природного середовища тісно пов'язані з фізико-географічними умовами оточуючих ландшафтів. Це проявляється у надходженні до водойм осадового матеріалу, особливості якого визначаються природними умовами і, насамперед, особливостями підстилаючих порід, клімату й рельєфу в межах площ водозборів. Різноманітність водозборів озер – основа відмінностей хімічного складу води й донних відкладів.

Седиментаційно-діагенетичні процеси формування відкладів, їх склад і поширення відображають загальний зміст природних процесів у межах досліджуваного регіону з властивими йому місцевими особливостями. Озеро в межах свого басейну – це базис акумуляції. З часу виникнення воно є місцем нагромадження й формування різнотипних речовин. Їхній склад, швидкість нагромадження, потужність пов'язані з ландшафтними особливостями водозбору й сукупністю явищ, які відбуваються в озері.

В озерних улоговинах нагромаджуються донні відклади, які є важливими компонентами вивчення змін природних явищ і процесів

на водозборах. Вони відображають комплекс глобальних і локальних подій, що контролюють механізм особливостей осадконагромадження й особливості складу його продуктів. Саме тому цікавими об'єктами дослідження озерних систем є донні відклади. Використовуючи сучасні методи дослідження (геохімічні, лімнопалеогеографічні, біологічні) можлива реконструкція умов і процесів седиментогенезу, з'ясування динаміки водно-стокових особливостей, оцінювання впливу кліматичних змін на зональність природи й еволюційну спрямованість змін в голоцені.

В антропогеновому осадовому покриві території разом із відкладами інших генетичних типів широко представлені донні відклади сучасних озерних водойм. В окремих районах озерні басейни седиментації займають до 10% території. Проте, незважаючи на значне поширення сучасних озерних відкладів, їх вивченню до сьогодні не приділялося значної уваги. Разом із тим, дослідження озерних відкладів має велике прикладне значення, воно пов'язане з пізнанням специфіки озерного седиментогенезу й реконструкцією палеоприродних умов голоцену; воно має і практичну цінність, зумовлену господарським використанням озерних відкладів.

1. Теоретичні аспекти дослідження озерної седиментації

При виконанні дослідження опрацьовано фондові матеріали Державного науково-виробничого підприємства «Геоінформ України». Аналіз озерних відкладів базується на теоретичних і методологічних засадах сучасної лімнології^{1, 2, 3}, органічної геохімії озерних відкладів⁴, аналітичних методах хімічних досліджень озер та їх інтерпретації⁵. Вивчення донних відкладів озер – важливий напрям у геохімії, водній

¹ Argillier C., Carriere A., Poikane S., Van de Bund W. Lake Hydromorphological Assessment and Monitoring Methodologies. European survey, EUR 31029 EN, Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2022. DOI: 10.2760/274896, JRC127847.

² Cole G. A., Weihe P. E. Textbook of Limnology. 5th ed. Waveland Press. 2016. 440 p.

³ Oakenfold S. Limnology and Freshwater Ecology. Syrawood Publishing House, 2017. 241 p.

⁴ Bertrand S., Tjallingii R., Kylander M., Wilhelm B., Roberts S., et al. Inorganic geochemistry of lake sediments: A review of analytical techniques and guidelines for data interpretation. *Earth-Science Reviews*. 2024. № 249. P. 104639. DOI: 10.1016/j.earscirev.2023.104639.

⁵ Frančišković-Bilinski S., Sakan S. Geochemistry of Water and Sediment. *Water*. 2021. № 13 (5). P. 693. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13050693>

токсикології та навіть розглядається як обов'язковий компонент у програмах контролю забруднення природного середовища^{6, 7, 8}.

Особливості клімату, рельєфу, ґрунтового й рослинного покриву визначають ступінь площинного змиву, внаслідок якого при обмеженні ролі річкового стоку в озера надходять органічні й мінеральні речовини. За певних природних умов в озері розвиваються процеси, які й призводять до нагромадження різноманітних за фаціальним складом товщ озерних відкладів. Процеси осадконагромадження зумовлені не тільки зовнішніми умовами, а й морфологічними особливостями улоговин, гідродинамічним і гідрохімічним режимом водної маси і в кінцевому підсумку – розвитком лімnobіонтів.

Морфометричні особливості озерних улоговин визначають водний режим, головним чином температурну стратифікацію водойм, у результаті якої формується газовий режим і мінералізація, що визначає тип озерних відкладів і вміст у них хімічних елементів. Рельєф озерних улоговин у поєднанні з ґрунтовим покривом регулюють інтенсивність процесів ерозії і вивітрювання на водозборі. Теригенний матеріал із водозбору надходить і розподіляється відповідно до законів механічної диференціації. Осідаючи на дні, він змішується із залишками відмерлих організмів, частково або повністю мінералізованими аутигенними новоутвореннями, які формуються в ході фізико-хімічних та біохімічних процесів. Тут утворюється шар пелогену (напівколоїдної рідкої маси), у якому відбуваються важливі біохімічні процеси, від спрямованості й інтенсивності яких значною мірою залежать найважливіші властивості донних відкладів озер (сапропелів)^{9, 10, 11}. Шар відкладів під пелогеном є кінцевою продукцією водойм озерного типу, на властивості якого тією чи іншою мірою впливають різні лімнічні чинники.

⁶ Fluet-Chouinard E., Messager M. L., Lehner B., Finlayson C. Freshwater Lakes and Reservoirs. In: Finlayson C., Milton G., Prentice R., Davidson N. (eds) *The Wetland Book*. Springer, Dordrecht. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007>

⁷ Hoffman S. Lake sediment geochemistry. In: General Geology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Boston, MA. 1988. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-30844-X_59

⁸ Ran F., Nie X., Wang S., Xiao T., Yang C., Liu Y., Wang L., Liu Y., Chu X., Li Z. A significant loop of lake sedimentation state links catchment eco-surroundings and lake biogenic regime shifts. *Limnol Oceanogr.* 2023. № 68. P. 1775–1790. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.12385>

⁹ Ільїн Л. В. Озерні відклади. Екологічна енциклопедія: У 3 т / редкол.: А. В. Толстоухов (гол. ред.) та ін. Київ : ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2008. Т. 3: О–Я. С. 17.

¹⁰ Ільїн Л. В. Озерознавство: Укр.-рос. сл. Поняття і терміни. Луцьк : Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2001. 112 с.

¹¹ Шевчук М. Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання. Луцьк : Надстир'я, 1996. 384 с.

Ландшафтознавчо-геохімічний підхід до реконструкції еволюції озерних екосистем (лімносистем) ґрунтується на відповідності тих чи інших ландшафтно-геохімічних обстановок певним умовам їх існування^{12, 13, 14}. Значну інформацію про минуле несуть геохімічні релікти (асоціації хімічних елементів, різні новоутворення тощо), які вміщують дані про геохімічні особливості минулих ландшафтів, відрізняються від сучасних хімічним складом. Велике значення у вивченні еволюції лімносистем має аналіз геохімічних циклів міграції речовини, оскільки вся історія розвитку лімносистем є неперервною диференціацією речовини.

Оскільки функціонування лімносистем нерозривно пов'язане з міграцією речовини, розподіл і різноманітність перетворень продуктів техногенезу в геосистемах визначається існуючою ландшафтно-геохімічною ситуацією¹⁵. Дослідження динаміки геохімічних параметрів відображає одну зі сторін загальної динаміки лімносистем (спонтанний розвиток) і їх антропогенних похідних модифікацій у стаціонарних умовах, дає змогу прогнозувати ландшафтно-геохімічну ситуацію, яка можлива при трансформації геосистем під впливом техногенезу.

Як відомо, особливості малих озерних басейнів у тому, що осадконагромадження тісно пов'язане зі складом порід водозборів. Диференціація речовини на стадії седиментації сприяє формуванню генетично різних відкладів, поширеність яких підпорядкована регіональним умовам. Для зіставлення басейнів і з'ясування їх регіональних особливостей важливо мати докладну інформацію про середні (кларкові) вмісти основних компонентів породоутворення. Разом із аналітичними даними нами нагромаджено матеріал, який характеризує відклади понад 200 різнотипних водойм Українського Полісся. Деталізовані також дані про типізацію відкладів, що дає можливість проводити систематизацію даних на генетичній основі^{16, 17, 18, 19}.

¹² Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів : навч. посібник. Київ : Либідь, 2000. 472 с.

¹³ Ільїн Л. В. Ландшафтно-геохімічні аспекти дослідження лімносистем. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 130–136.

¹⁴ Ільїн Л. Geochemical peculiarities of bottom sediments in polytypic lakes of Ukrainian Polissya. *Limnological Review*. 2002. № 2. P. 155–163.

¹⁵ Ільїн Л. Właściwości geochemiczne osadów dennych różnych typów jezior Polesia Ukrainińskiego. Naturalne i antropogeniczne przekształcenia jezior: VI Konferencja limnologiczna. Lublin – Okuninka : Maria Curie-Skłodowska University, 2002. P. 21–22.

¹⁶ Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся : монографія : у 2-х т. Т. 1. Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк : РВВ «Вежа» ВДУ ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.

¹⁷ Ільїн Л. В. Геохімічні особливості донних відкладів озер Полісся України. *Агрохімія і ґрунтознавство: Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Харків-Луцьк, 2002. Кн. 4. С. 89–98.

Різностороннє вивчення озер сприяє використанню їх ресурсів, з'ясуванню антропогенного впливу на водне середовище й донні відклади, створює можливість прогнозувати подальше використання водних об'єктів. Кожне завдання ґрунтується на аналізі складних процесів озерної седиментації, міграції та взаємодії речовин і хімічних елементів у системах «водозбір – озеро, вода – донні відклади». Геохімічний підхід передбачає дослідження закономірностей розподілу осадоутворюючих елементів у різнотипних озерах, які різняться за походженням та природними умовами водозбірів.

Озерні басейни Українського Полісся в силу свого зонального положення, розмірів і походження зручні для дослідження геохімії осадового процесу й органо-мінеральних поєднань. Осадоутворення відбувається тут за різних умов (геолого-геоморфологічних, ландшафтних, фізико-хімічних).

Різноманітними є генезис, морфологія озерних улоговин, їх положення в ландшафтах. Накопичення осадового матеріалу супроводжується формуванням новоутворених акумуляцій, механічних сумішей та (або) однорідних органо-мінеральних й органічних відкладів, розміщення і склад яких відповідає лімічним і геохімічним властивостям улоговин, змісту автохтонно-аутигенних процесів.

При геохімічному вивченні відкладів озер розрізняють, зазвичай, такі завдання: оцінювання вмісту основних осадоутворюючих елементів, дослідження хімічного складу органічної частини відкладів, вивчення карбонатної речовини як комплексного показника умов і середовища осадо накопичення, оцінювання вмісту мікроелементів як показників антропогенного забруднення, вивчення форм знаходження елементів як індикатора фазового стану осадового матеріалу²⁰.

Склад речовини, яка утворює озерні відклади, характеризується вмістом головних осадоутворюючих складників – SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , зольністю.

¹⁸ Ільїн Л. В., Ільїна О. В. Вплив техногенезу на седиментаційні процеси в озерах Українського Полісся. *Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях* : збірник матеріалів І Міжвузівської науково-методичної конференції (Харків, 21 листопада 2012 р.). Харків : НУЦЗУ, 2012. С. 43–45.

¹⁹ Pasichnyk M. P., Ilyin L. V., Ilyina O. V. Composition and Properties of Bottom Sediments of the Shatsk Lakes (West Polesia of Ukraine). *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Nov 2023. Vol. 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520145>

²⁰ Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся. У 2-х т. Т. 2: Регіональні особливості та оптимізація. Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. 400 с.

Індикаторами умов і чинників осадонакопичення можуть бути: у карбонатних відкладах – загальний вміст і варіації в розрізах органічних речовин, карбонатів і їх складу, теригенних компонентів (кремнезему, алюмінію, лугів), мікроелементів (титану, хрому, ванадію, цирконію, марганцю, міді; в озерах-органонагромаджувачах з одноманітними осадовими товщами – розподіл за площею і динаміка в розрізах органічної речовини, рН-, Eh- показників, кислотно розчинного заліза й ін.; у відкладах із чергуванням мінеральних й органічних відкладів додаткову інформацію несуть варіації форм сірки, заліза, мікроелементів.

Процес акумуляції речовини в озерах відбувається за участю внутрішньоводоймних (лімнічних) і зовнішніх процесів. За уповільненого водообміну в різних природних умовах водозборів формуються різні типи осадконагромадження. Оскільки донні відклади (сапропелі) є складними природними утвореннями, а їх склад змінюється в значних межах і залежить від багатьох чинників, застосування методів математичної статистики забезпечує достатньою точність у з'ясуванні їх об'єктивних характеристик.

Вивчення особливостей нагромадження відкладів озер із урахуванням максимального числа суто лімнічних, породоутворюючих та інших природних чинників дає можливість установити закономірності формування їх складу і властивостей у різнотипних водоймах.

Ландшафтознавчо-геохімічний аналіз лімносистем, які функціонують в умовах техногенезу, є важливою ланкою у вивченні розвитку геосистем та їх похідних антропогенних модифікацій для організації раціонального природокористування.

За даними загального вмісту компонентів можна простежити зміни у складі як за площею, так і розрізом озерних відкладів, здійснити оцінювання сапропелевих та інших корисних копалин, визначити шляхи їх практичного використання.

2. Мінеральна складова донних відкладів

Величина і склад мінеральних компонентів визначаються у загальному вигляді показником зольності. Він залежить від надходження речовини в озеро з річковим, ґрунтовим і поверхневим стоком, хімічним складом води й від комплексу фізико-хімічних та біохімічних процесів, які відбуваються в самій водоймі. Мінеральні речовини, які входять до складу озерних сапропелів, включають принесені кластогенні елементи, аутигенні утворення, компоненти, адсорбційно пов'язані з органічною речовиною або металоорганічні сполуки.

Зольність – головний визначальний показник якісної характеристики відкладів водоїм, а, відповідно, і напрямів їх використання. Зовсім недавно деякі вчені вважали, що оцінку сапропелів слід проводити винятково за їх золою. У зв'язку з нагромадженням значних матеріалів із генезису озерних відкладів (виявлено сапропелі, які вміщують 80–90% органічних речовин), природно, що оцінка їх повинна бути ґрунтовніша, з урахуванням можливості використання органічної частини.

Загальний розподіл зольності за вертикалю у відкладах можна представити двома схемами, характерними для сучасних органогенних відкладів: у нижніх горизонтах сапропелевих відкладів уміст золи вищий, а до верхніх горизонтів зменшується; на стратиграфічних розрізах ряду родовищ уміст золи в сапропелях знизу догори однаковий або дуже близький.

Розглядаючи зольність сапропелів, доцільно зупинитися на хімічному складі їх золи. Це питання розглядалося рядом дослідників для Українського Полісся^{21, 22}.

Кількість мінеральної частини, її склад, форми окремих мінералів мають вирішальне значення в типовій і видовій характеристиці того чи іншого покладу, а також визначають його господарського використання. У наших дослідженнях на основі фондових матеріалів Державного науково-виробничого підприємства «Геоінформ України» вивчено склад золи й окремі форми елементів, що важливо для подальшого використання відкладів у різних галузях економіки (табл. 1).

Аналіз фондових матеріалів Державного науково-виробничого підприємства «Геоінформ України» засвідчує, що зольність має тенденції до зміни з глибиною відкладів. Цей показник варіює від 18% (7,0–7,5 м – оз. Велике II) до 81,2 (4,0–4,5 м – оз. Красне).

У сапропелях різних типів уміст мінеральної частини коливається в таких межах: в органічних – 7–30%, змішаних – 32–56, кремнеземистих і карбонатних – 40–85% в розрахунку на суху речовину.

Основу мінеральної частини донних відкладів в умовах досліджуваної території становлять сполуки кремнію – 71,87% (оз. Пулемецьке), 56,41% (оз. Люцимир), SiO₂ на суху речовину (табл. 2). У відкладах кремній перебуває у вільній формі (кварц) у складі силікатних і алюмосилікатних мінералів, а також у вигляді аморфної кремнекислоти.

²¹ Гпін Л. В., Мольчак Я. О. Озера Волині. Лімнологіко-географічна характеристика. Луцьк : Надтир'я, 2000. 140 с.

²² Довідник ресурсів сапропелю України. Кн. 1. Волинська область. Київ : ДГП «Північ-україногеологія», 1994. 194 с.

Таблиця 1

**Вертикальний розподіл зольності у донних відкладах
різномісних озер Українського Полісся, %**

Глибина, м	Озера										
	Мошине (Волинська область)	Велике II (Рівненська область)	Мале (Рівненська область)	Оструватське (Рівненська область)	Оріхове (Рівненська область)	Осовицьке (Рівненська область)	Ухове (Волинська область)	Луко (Рівненська область)	Волово (Київська область)	Красне (Сумська область)	Сядрино (Сумська область)
0,0–0,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5–1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	38,25	–	31,9
1,0–1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	39,79	–	31,6
1,5–2,0	37,0	50,0	42,0	42,0	23,0	–	–	–	39,29	–	39,6
2,0–2,5	37,0	29,0	34,7	46,0	30,0	–	–	33,0	42,14	–	45,4
2,5–3,0	27,0	29,0	32,7	47,0	32,0	45,5	–	37,9	41,43	–	52,6
3,0–3,5	25,0	29,0	37,0	42,5	36,0	46,1	–	39,1	38,07	–	57,8
3,5–4,0	25,0	24,0	32,0	39,5	36,0	48,2	–	44,6	37,14	–	59,3
4,0–4,5	24,0	25,5	31,5	39,5	35,0	46,6	–	40,2	38,50	81,2	–
4,5–5,0	26,0	25,0	33,5	37,5	30,0	43,5	48,0	40,8	39,00	70,8	–
5,0–5,5	26,0	34,0	32,5	41,0	36,0	44,5	38,0	44,1	41,92	65,8	–
5,5–6,0	24,0	33,5	32,5	36,0	35,0	41,2	44,0	43,9	40,50	69,0	–
6,0–6,5	25,0	38,5	32,5	39,0	25,0	48,7	42,0	44,8	42,50	65,7	–
6,5–7,0	24,0	30,0	33,0	38,0	33,5	46,6	43,0	42,3	38,13	61,5	–
7,0–7,5	28,0	18,0	32,0	39,0	32,0	45,3	42,0	37,8	38,00	57,3	–
7,5–8,0	24,0	24,5	34,0	39,0	33,0	47,5	37,0	47,8	40,00	50,8	–
8,0–8,5	34,0	26,0	36,5	40,5	49,5	42,5	35,0	42,8	40,50	63,7	–
8,5–9,0	31,0	27,0	36,5	40,5	46,5	44,6	40,0	39,5	42,67	48,7	–
9,0–9,5	28,0	33,0	36,5	39,0	40,0	51,0	39,0	33,7	41,67	52,0	–
9,5–10,0	28,0	35,0	35,0	37,0	29,0	54,0	39,0	38,2	46,67	48,5	–
10,0–10,5	27,0	39,0	33,5	35,0	22,0	46,0	34,0	42,0	45,83	54,0	–
10,5–11,0	30,0	30,0	34,0	34,0	32,0	54,0	36,0	41,7	42,00	58,0	–
11,0–11,5	52,5	20,0	43,5	37,0	43,0	53,0	32,0	41,7	43,50	–	–
11,5–12,0	–	28,0	40,0	42,5	33,0	–	40,0	45,0	42,00	–	–
12,0–12,5	–	28,0	43,0	32,0	37,0	–	37,0	37,0	51,50	–	–
12,5–13,0	–	32,0	44,0	–	26,0	–	36,0	–	51,50	–	–
13,0–13,5	–	35,0	38,0	–	25,0	–	33,0	–	54,00	–	–
13,5–14,0	–	35,0	–	–	32,0	–	23,5	–	53,00	–	–
14,0–14,5	–	22,0	–	–	–	–	50,0	–	53,50	–	–
14,5–15,0	–	–	–	–	–	–	54,0	–	48,50	–	–
15,0–15,5	–	–	–	–	–	–	–	–	46,50	–	–

Джерело: узагальнено за фондовими матеріалами Державного науково-виробничого підприємства «Геоінформ України»

Таблиця 2

Хімічний склад поверхневих донних відкладів різногіпних озер, % на абсолютно суху речовину

Назва озера	Місце відбору, глибина, м	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Зольність	C _{орг.}	Донні відклади
Світязь	15,4	36,55	5,76	1,98	0,10	16,47	0,81	0,56	0,26	65,31	12,40	Сапропель кремнеземистий
Світязь	30,4	6,83	2,52	2,15	0,21	19,47	1,52	1,76	0,83	34,65	26,98	Сапропель тонкоделітовий
Пулемецьке	8,0	49,44	3,13	2,70	0,13	3,74	0,02	2,26	0,37	64,63	15,92	Сапропель кремнеземистий
Пулемецьке	7,2	71,87	4,01	2,28	0,12	1,64	0,59	0,26	0,30	81,65	9,27	Мул глинистий
Пулемецьке	12,0	27,22	4,96	6,94	0,01	2,86	0,75	1,53	0,55	48,20	27,62	Сапропель тонкоделітовий
Люцимир	9,0	56,41	6,47	9,19	0,76	2,75	0,21	0,51	2,79	78,75	11,43	Мул глинистий озалізнений
Люцимир	6,0	36,83	0,33	5,35	0,12	2,28	0,87	2,87	0,46	54,81	21,64	Сапропель кремнеземистий
Чорне Велике	1,5	14,31	3,09	1,33	0,37	18,45	0,95	0,74	0,31	44,60	22,39	Сапропель тонкоделітовий
Соминець	2,5	1,65	1,35	0,89	0,09	26,67	0,73	–	0,21	35,36	23,72	Сапропель тонкоделітовий
Карасинець	1,5	11,06	4,13	2,15	0,06	4,88	0,43	0,26	0,29	28,66	34,60	Сапропель тонкоделітовий
Озерце	2,0	12,34	3,04	1,77	0,08	7,89	–	1,36	0,47	35,39	32,50	Сапропель тонкоделітовий
Чорне Мале	1,0	11,86	4,30	3,60	0,04	7,95	1,26	3,43	0,70	36,43	29,47	Сапропель тонкоделітовий
Климецьке	1,5	23,05	2,48	2,78	0,09	6,14	1,25	2,81	0,42	45,01	25,68	Сапропель тонкоделітовий

Джерело: узагальнено за фондовими матеріалами Державного науково-виробничого підприємства «Геоінформ Україна»

Інтенсивність нагромадження кремнію і алюмінію в озерних відкладах залежить від надходження теригенного матеріалу, що зумовлено інтенсивністю ерозійних процесів, рельєфом і поверхневими відкладами водозборів. Нагромадження кристалічного кремнію і алюмінію повністю визначається обсягами теригенного стоку продуктів руйнування четвертинних покривних відкладів і диференціюється відповідно до законів механічної седиментації. Максимальна акумуляція алюмінію відбувається в евтрофних і мезотрофних озерах у тонкодисперсних відкладах із великим умістом глинистого матеріалу.

Крім показника зольності, основними компонентами донних відкладів змішаного типу, як зазначалося вище, є SiO_2 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , P_2O_5 , N_2O , K_2O й ін.

Близько 30% представлено відкладами, зола яких складається з кристалічної SiO_2 , а вміст окремих компонентів, включаючи P_2O_5 (0,12–1,4%) і K_2O (0,3–1,3%), ідентичні сапропелям органічного типу. Ці сапропелі характеризуються більш високим рівнем зольності (в середньому 35%), ніж органічні. Вміст SiO_2 в золі коливається 8,1–27,8%, CaO від 7,9–17,3%, Fe_2O_3 – 5,9–19,1% у розрахунку на суху речовину.

Для кремнеземистих сапропелів показник умісту SiO_2 сягає від 29,7 до 74,6%. Для кремнеземистих відкладів характерний найбільший вміст Fe_2O_3 (6,4–13,2%), що зумовлено наявністю глинистих мінералів. Зазвичай, підвищеному вмісту алюмінію відповідає підвищений вміст калію. Так, вміст Al_2O_3 становить 6,3–12,7%, вміст K_2O дорівнює 1,2–3,6%.

Для карбонатних відкладів головний мінеральний компонент – карбонат кальцію (від 29,8 до 84,2%). Вміст SiO_2 і Fe_2O_3 , які переважають серед інших компонентів золи, зменшується в міру зростання CaCO_3 . Карбонатні сапропелі бідні окислами фосфору (0,09–0,56%) і калію (0,12–0,48%).

Відклади всіх типів бідні сіркою. Її кількісний вміст не переважає 3%, складаючи в середньому 0,09–1,7%.

Показники кислотності в сапропелевих відкладах не мають значних відхилень і коливаються від кислотного (3,2, оз. Тухове) до слабокислотного (8,48, оз. Осовитське). Як засвідчують дані щодо водойм, розміщених у різних регіонах Українського Полісся, більшість озерних відкладів має показник рН від 5,5 до 7,5.

Дослідження вологості засвідчують, що нижні придонні горизонти мають дещо нижчу вологість, яка до верхніх горизонтів збільшується (табл. 3).

Таблиця 3

Вертикальний розподіл вологості донних відкладів різнотипних озер Українського Полісся, %

Глибина, м	Озера										
	Мошне (Волинська область)	Велике II (Рівненська область)	Мале (Рівненська область)	Острунатське (Рівненська область)	Оріхове (Рівненська область)	Осовицьке (Рівненська область)	Ухове (Волинська область)	Луко (Рівненська область)	Волово (Київська область)	Красне (Сумська область)	Сядрино (Сумська область)
0,0–0,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5–1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	94,42	–	92,88
1,0–1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	94,18	–	91,79
1,5–2,0	94,37	86,83	89,22	93,81	95,26	–	–	–	93,60	–	88,23
2,0–2,5	94,41	92,57	91,74	92,55	93,84	–	–	93,25	93,03	–	77,85
2,5–3,0	95,18	92,44	93,05	92,50	92,27	86,44	–	92,63	91,48	–	68,65
3,0–3,5	94,40	92,42	93,26	92,90	92,67	86,80	–	92,62	91,93	–	62,32
3,5–4,0	94,00	93,13	92,80	93,03	92,26	83,76	–	92,29	91,35	–	62,12
4,0–4,5	94,51	92,30	94,10	93,14	90,91	83,05	–	92,41	92,24	78,80	–
4,5–5,0	94,00	93,01	93,56	92,51	91,66	86,88	83,21	92,84	90,62	80,28	–
5,0–5,5	92,84	91,36	93,14	92,66	91,77	85,39	89,86	91,91	89,47	79,27	–
5,5–6,0	94,69	91,28	92,19	91,78	92,07	86,53	86,07	91,83	90,07	76,24	–
6,0–6,5	94,16	91,07	91,9	92,08	91,70	81,94	86,44	91,34	89,35	81,83	–
6,5–7,0	94,22	91,26	92,84	91,18	91,20	82,20	88,31	91,60	90,22	82,33	–
7,0–7,5	93,03	93,27	92,99	91,18	92,06	81,94	84,87	91,26	89,05	86,05	–
7,5–8,0	93,78	93,91	92,74	91,33	89,66	82,21	86,24	90,90	90,46	87,92	–
8,0–8,5	93,18	92,92	93,12	91,66	87,82	83,92	90,62	91,55	88,54	83,78	–
8,5–9,0	92,88	93,00	92,22	90,77	87,56	84,64	83,23	91,12	88,04	87,38	–
9,0–9,5	93,46	91,25	91,40	90,77	89,33	83,82	85,76	91,15	87,75	87,20	–
9,5–10,0	94,94	89,91	91,65	90,67	89,59	81,17	85,07	90,83	86,20	87,75	–
10,0–10,5	93,74	90,37	90,03	90,96	91,15	86,80	87,39	89,60	85,77	85,04	–
10,5–11,0	93,29	90,70	91,32	90,86	90,35	75,68	84,51	89,97	84,94	84,00	–
11,0–11,5	87,86	93,79	91,28	90,52	90,75	80,74	87,86	89,57	79,36	–	–
11,5–12,0	–	95,38	88,92	88,88	89,02	–	81,27	89,34	83,86	–	–
12,0–12,5	–	94,33	89,59	–	90,61	–	83,65	89,82	82,85	–	–
12,5–13,0	–	93,18	88,35	–	89,71	–	86,27	–	80,07	–	–
13,0–13,5	–	91,15	88,99	–	90,16	–	85,39	–	79,68	–	–
13,5–14,0	–	90,28	88,99	–	90,69	–	91,03	–	79,61	–	–
14,0–14,5	–	88,26	–	–	–	–	89,17	–	78,72	–	–
14,5–15,0	–	92,47	–	–	–	–	81,26	–	81,00	–	–
15,0–15,5	–	–	–	–	–	–	–	–	78,94	–	–

Джерело: узагальнено за фондовими матеріалами Державного науково-виробничого підприємства «Геоінформ України»

Специфіку якісного складу донних відкладів Українського Полісся визначають геохімічні відмінності ландшафтів. Сапропелі озер характеризуються невисокою зольністю, що пов'язано зі значною заболоченістю низинних водозборів. Ці чинники, а також склад покривних порід призводять до помітної дистрофікації озер, що сприяє підвищеній концентрації оксидів заліза в сапропелях. Оксиди кальцію, навпаки, більше концентруються в сапропелях підвищених ландшафтів, які мають супіщані й, рідше, суглинисті поверхневі породи.

Механізм озерного нагромадження визначає речовинну своєрідність відкладів, склад і стратиграфію донних відкладів, їх зв'язок із ландшафтними особливостями регіону, загальними лімнічними умовами водойм і змінами цих умов протягом усього часу існування озер.

У процесах озерного нагромадження відкладів відображається різноманітність ландшафтно-геохімічних особливостей водозборів і фізико-хімічного середовища водойм. Механічна, хімічна та біотична диференціація речовини тісно пов'язана і проявляється у специфіці геохімії окремих елементів.

3. Біогенні елементи донних відкладів

Оскільки озера є нагромаджувачами і трансформаторами речовини в літосфері й відображають в інтегрованому вигляді стан і динаміку басейнової геосистеми, то актуальними є питання виявлення показників зміни стану озерних геосистем: їх стаціонарних режимів, динаміки, напрямків можливих змін. У цьому плані найбільш інформативним компонентом озерної геосистеми є донні відклади – кінцевий результат складних процесів перетворення речовин, що відбуваються в часі в межах водозбору.

Одним із найчутливіших індикаторів цих природних процесів є вміст біогенних елементів у донних відкладах. У цьому аспекті донні відклади вивчені недостатньо, чим пояснюється відсутність геохімічних критеріїв, що дають можливість простежити ті чи інші сторони озерного нагромадження відкладів. Виявлення геохімічних індикаторів умов озерного нагромадження необхідне для раціонального вирішення проблем моніторингу озерних геосистем, оскільки використання для цієї мети донних відкладів виключає потребу тривалого спостереження для отримання необхідної інформації.

Антропогенні зміни біогенного навантаження тим чи іншим чином відображаються на зміні структури екосистеми озер: зростає рівень біопродуктивності, змінюється видовий склад біотичних угруповань, порушується стійкість трофічних зв'язків. Однак питання про

трансформацію біогенних елементів у водоймі, про їх вплив на рівень і швидкість евтрофікації озер і сьогодні є актуальним і поки що далеким від вирішення.

До біогенних елементів належать: залізо (Fe), сірка (S), азот (N), калій (K), фосфор (P) та їхні сполуки. Залізо – один із найбільш динамічних компонентів донних відкладів, його седиментація тісно пов'язана з фізико-хімічними умовами і трофністю озерних водойм. Завдяки здатності утворювати окисні й закисні форми залізо, чітко реагує на зміни в окисно-відновних умовах водної маси.

В озерах зі стійким відновним середовищем нанопичення заліза відбувається за рахунок органічних та мінеральних комплексних сполук. Іонні сполуки заліза швидко гідролізуються, окислюються і випадають в осад. Стабілізації заліза в донних відкладах при цьому сприяє глинистий фон седиментації, оскільки основна частина теригенного заліза пов'язана з глинистими мінералами.

Високий вміст органічної речовини визначає можливість утворення в донних відкладах комплексних сполук заліза. Зі зменшенням впливу органічних речовин роль фізико-хімічних процесів у накопиченні заліза зростає.

У донних відкладах розглянутих озер міститься значна кількість Fe_2O_3 , яка коливається у значних межах: від 0,72 % (оз. Велике II, 7,5–8,0 м), до 18,0 % (оз. Мале 12,5–13,0 м). Найпоширенішою в донних відкладах є сполука заліза – лімоніт. Вертикальний розподіл біогенів у відкладах узагальнений у табл. 4, а середні показники вмісту його у різнотипних озерах – у табл. 5.

При підвищеному вмісті заліза часто спостерігається підвищений вміст фосфору, який варіює в широких межах від 0,05 % до 7,41 %, залежно від виду донних відкладів. В озера фосфор потрапляє у вигляді домішок органічної речовини, де згодом адсорбується, випадає в осад і мінералізується бактеріями.

У донних відкладах присутні органічні й неорганічні сполуки фосфору (сполуки з алюмінієм, кальцієм, залізом). Неорганічні форми фосфору переважають в евтрофних озерах, що спричинено їх швидкою мінералізацією. Органічні форми фосфору нагромаджуються в донних відкладах дистрофних озер, де вони пов'язані з гуміновими кислотами; характеризуються низькими темпами мінералізації, у результаті чого значна частина фосфору не бере участі в біотичному кругообігові, а відкладається в осад.

Таблиця 4

**Біогенні елементи донних відкладів озер Українського Полісся,
% на суху речовину²³**

Глибина, м	Оз. Велике II					Оз. Мале					Оз. Оріхове				
	N _{зр}	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	S	N _{зр}	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	S	N _{зр}	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	S
2,0	1,98	0,16	1,04	1,04	1,28	2,88	0,42	1,65	0,30	1,49	3,41	0,32	3,11	0,13	1,19
2,0–2,5	1,80	0,09	0,89	0,89	1,23	–	0,25	2,64	0,21	–	3,05	0,70	3,24	0,18	1,22
2,5–3,0	3,18	0,20	0,95	0,95	1,72	3,29	0,40	1,75	0,25	1,47	3,43	0,22	2,77	0,15	1,24
3,0–3,5	2,31	0,15	0,96	0,96	1,25	–	0,71	2,01	0,17	–	2,55	1,05	4,78	0,24	1,75
3,5–4,0	3,38	0,15	0,95	0,95	1,39	3,02	0,38	2,69	0,18	1,29	2,87	1,05	3,60	0,18	2,33
4,0–4,5	3,17	0,11	0,87	0,87	1,18	–	0,84	1,54	0,24	–	3,01	0,86	4,93	0,23	1,50
4,5–5,0	3,80	0,15	0,91	0,91	1,24	2,66	0,19	1,76	0,25	1,35	3,35	1,60	4,34	0,17	1,72
5,0–5,5	2,45	0,05	0,75	0,75	1,07	–	1,47	4,22	0,13	–	3,13	1,53	6,21	0,24	1,60
5,5–6,0	4,00	0,08	1,14	1,14	1,04	3,34	0,31	3,12	0,12	1,49	3,05	1,01	5,70	0,25	1,62
6,0–6,5	2,89	0,08	1,15	1,15	1,62	–	0,71	3,22	0,12	–	2,94	1,16	4,97	0,27	1,89
6,5–7,0	3,37	0,11	1,05	1,05	1,09	3,26	0,51	2,49	0,12	1,53	2,95	5,03	4,35	0,25	1,39
7,0–7,5	3,80	0,11	0,85	0,85	1,44	–	2,94	4,56	0,12	–	3,17	1,23	4,50	0,23	1,77
7,5–8,0	3,97	0,10	0,72	0,72	1,10	3,14	0,75	3,24	0,18	1,32	3,54	0,67	4,43	0,33	2,03
8,0–8,5	3,62	0,10	0,80	0,80	1,40	–	2,22	4,69	0,09	–	2,45	1,80	4,14	0,47	2,22
8,5–9,0	3,10	0,10	0,84	0,84	1,22	3,11	1,04	5,27	0,14	1,54	2,45	0,23	3,97	0,61	2,29
9,0–9,5	3,80	0,09	0,90	0,90	1,41	–	2,26	3,32	0,16	–	2,29	0,64	2,86	0,17	1,71
9,5–10,0	2,50	0,11	1,22	1,22	1,52	3,24	1,16	3,78	0,16	1,64	–	–	5,99	0,16	–
10,0–10,5	3,80	0,08	1,50	1,50	1,41	–	3,30	4,78	0,15	–	2,81	0,94	5,89	0,15	1,64
10,5–11,0	1,93	0,13	1,99	1,99	1,80	2,72	0,91	5,61	0,15	1,87	–	–	6,79	0,16	–
11,0–11,5	4,46	0,06	1,57	1,57	1,52	–	2,93	6,71	0,16	–	2,92	1,82	7,15	0,26	1,37
11,5–12,0	–	–	0,87	0,87	–	2,81	0,78	6,39	0,17	1,60	–	–	6,82	0,17	–
12,0–12,5	3,45	0,06	0,87	0,87	1,65	–	7,41	10,69	0,12	–	3,05	0,99	6,65	0,20	1,95
12,5–13,0	–	–	0,88	0,88	2,00	3,00	–	18,00	0,08	1,97	–	–	5,60	0,14	–
13,0–13,5	3,02	0,10	1,10	1,10	1,62	–	5,02	16,52	0,09	–	3,30	1,90	5,44	0,10	2,16
13,5–14,0	–	–	1,49	1,49	–	–	–	10,62	0,13	–	–	–	4,92	0,26	–
14,0–14,5	1,99	0,15	2,56	2,56	1,82	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14,5–15,0	–	–	1,49	1,49	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Слід зазначити підвищену кількість фосфору, що спостерігається в сучасних шарах сапропелів озер. Це пояснюється надмірним антропогенним впливом, що зумовлений господарською діяльністю людини. Основними джерелами надходження фосфору є: комунальні та промислові стоки, тваринницькі ферми, сільськогосподарської підприємства, рекреація і деякі інші. Максимальні надходження фосфору із

²³ Ilyina O. V., Ilyin L. V. Biogenic Elements of Lake Sediments as Indicators of Natural and Anthropogenic Processes. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* : 18th International Conference. April 2025. Vol. 2025. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510123>

тваринницьких ферм і ті, що надходять із комунальними стоками, на окремих озерах становлять до 90 % загального навантаження фосфором. У критичній ситуації перебувають озера, розміщені в межах населених пунктів із багатьма джерелами забруднення, виокремлення яких не завжди можливе. Рекреація, разом із іншими об'єктами, набуває статусу потужного джерела фосфору, рекреаційне навантаження на окремі водойми становить до 50 % від сумарного їх надходження. Вміст фосфору в донних відкладах змінюється досить істотно.

У сапропелях розглянутих озер міститься, зазвичай, незначна кількість сірки – 1–1,8% і лише в окремих випадках перевищує 2%. Надходження сірки в донні відклади залежить від особливостей водозбору й окисно-відновних умов озера. Основними формами сірки в сапропелях є органічна, сульфатна й сульфідна. Нагромадження її відбувається внаслідок поглинання сульфат-іонів планктоном. Згодом, у ході мінералізації органічної речовини, сірка переходить у мінеральні форми.

Донні відклади досліджених озер мають високий вміст загального азоту – до 4,5%. При цьому азот у відкладах головним чином органічного походження. Хімічний склад азотистих утворень зумовлений видами сполук азоту (білки, цукор), що потрапляють у відклади з рештками рослинних і тваринних організмів, які й формують органічну речовину та впливають на сукупність фізико-хімічних та мікробіотичних перетворень у сапропелеутворенні.

Надходження калію та його сполук у озера, а також його седиментація в озених відкладах визначається обсягами теригенного матеріалу, що вноситься. Калій входить до складу алюмосилікатних глинистих мінералів і зв'язаний із тонкодисперсною фракцією відкладів. Він знаходиться у слюдах, польових шпатах, глинистих мінералах, а також у складі деяких важких мінералів. Наявність калію в донних відкладах озер Українського Полісся є не досить значною, становить менше 1%.

Різномісний водойми мають різні показники вмісту K_2O (від 0,13%, оз. Бухове, до 0,80%, оз. Озеро), P_2O_5 (від 0,13%, оз. Більське, до 1,45%, оз. Омит), S (від 1,05%, оз. Верхнє, до 1,47%, оз. Вежиця), Fe_2O_3 (від 1,42%, оз. Озеро, до 7,41%, оз. Омит) (табл. 5).

Вплив природних й антропогенних процесів на озерні комплекси фіксується сучасними донними відкладами. Дослідження закономірностей просторово-часового розподілу біогенних елементів дає можливість з'ясувати зміни екосистем водойм, пов'язаних із природними чинниками і з діяльністю людини. Зміни умов седиментації біогенів спостерігається також у динаміці варіації їхніх змін у розрізах донних відкладів. Наявність в озерах біогенних елементів робить донні відклади важливим сировинним

ресурсом, який може використовуватися в різних сферах господарської діяльності (сільське господарство, медицина, бальнеологія й ін.).

Таблиця 5

Середні показники вмісту біогенних елементів у різнотипних озерах Українського Полісся, % на суху речовину

Назва озера	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	Fe ₂ O ₃
Більське	0,39	0,13	1,25	1,68
Вежиця	0,22	1,23	1,47	4,04
Бухове	0,13	0,47	1,32	4,96
Омит	0,41	1,45	1,46	7,41
Сосно	0,54	0,72	1,27	4,13
Верхнє	0,52	0,40	1,05	6,13
Миляч	0,33	1,09	1,30	6,32
Озерське	0,42	0,34	1,13	3,85
Сомине	0,28	0,83	1,41	6,20
Карасин	0,18	0,33	1,24	3,95
Мар'янівське	0,28	0,45	1,14	4,25
Озеро	0,80	0,25	1,45	1,42

Наступним етапом аналізу біогенів є виявлення меж, на рівні яких спостерігаються антропогенні зміни й перехід озер в іншу за рівнем трофності стадію розвитку. Знання процесів формування складу відкладів і чинників, які його контролюють, необхідне для науково обґрунтованого прогнозу розвитку водойм, впливу на них техногенного навантаження і розробки схем раціонального використання їхніх ресурсів.

4. Поширення і типізація лімногеохімічних осадових комплексів та можливості їх господарського використання

До числа комплексних характеристик довкілля і його змін належать ландшафтно-геохімічні особливості, які визначають закономірності диференціації речовини й можливості її міграції. Аналіз міграції речовини набуває особливого значення в змінених господарською діяльністю озерних екосистемах, де активно взаємодіє її природний і антропогенний складники²⁴.

Озерні відклади – дуже складні об'єкти дослідження, їх склад й властивості залежать від різного якісного та кількісного поєднання

²⁴ Ilyina O., Ilyin L. Forms of Lake Basins of the Ukrainian Polissya Region and Their Transformations in the Process of Accumulation of Bottom Deposits. *GeoTerrace-2023* : International Conference of Young Professionals. Oct 2023. Vol. 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510066>

речовин. У зв'язку з цим не випадково в геохімії донних відкладів до цього часу існує [багато не вирішених проблем, що стосується насамперед методичних рекомендацій, які регламентували б умови виконання окремих стадій досліджень і дали б можливість взаємодоповнювати результати, отримані в різних наукових установах. Ураховуючи загальні закони розвитку природних комплексів, можна виділити дві групи чинників, що впливають на процес формування і накопичення донних відкладів озер. Це зональні чинники – клімат, ґрунтовий покрив, рослинність; та азональні, які передусім пов'язані з особливостями надр і рельєфу території.

Вивчення седиментації у внутрішньоконтинентальних водоймах дає змогу виявити (з'ясувати) досить складні особливості озерного седиментогенезу, дослідження яких поки ще пов'язане з великими труднощами. Надійному вивченню своєрідного осадонагромадження сприяє значна активність седиментаційних процесів, що протікають в аквальних утвореннях незначного розміру та глибини. Розглядаючи їх як єдину природну систему, можна виявити просторово-часові зміни балансу речовини з усією структурою літоморфодинамічних процесів, вітрохвильовим та водними й гідрохімічними режимами.

Вивчаючи просторово-часові особливості озерного осадонагромадження, ми прагнули не тільки розглянути увесь комплекс процесів нагромадження уламкового матеріалу в озерах – завершальних (кінцевих) водоймах стоку. Не менш важливо виділити основні процеси і явища, які відображаються у стратиграфічному розрізі осадової товщі. Отже, завдання зводилося до виявлення ефемерних утворень і того комплексу явищ, які визначають просторовий розподіл літологічних типів донних відкладів, потужність та будову відкладів.

Із усієї різноманітності типологічних ознак озер їхня основна властивість – нагромадження речовини – є кінцевим вираженням змісту озерних процесів у певних фаціальних умовах. Як відомо, озерне нагромадження – загальний типологічний показник, який застосовують до природних водойм, незалежно від їх характеристик (особливостей).

На основі сутності озерного кругообігу, процес осадонагромадження здійснюється під впливом комплексу внутрішньо- і поза водоймних чинників. Безстічні озера Українського Полісся, розміщені серед рівнинних ландшафтів, розвиваються головним чином під дією внутрішніх процесів. Для таких озер характерний акумулятивний тип водообміну, за якого повна зміна води у водоймі умовно відбувається за роки (наприклад, в оз. Світязь через 9 років), водні маси на 80 % стабільні й характеризуються вираженою термічною стратифікацією, ступінь прояву якої залежить від глибини улоговини. Домінує органічний тип осадонагромадження (органічна речовина становить понад 70 %).

В озерах інших типів процеси кругообігу речовини відбуваються під впливом, головним чином, зовнішніх (алохтонних) або «теригенних» чинників. Вони характеризуються доброю проточністю, що сприяє високій трансформованості водних мас (> 80%), акумулятивно-транзитному типу водообміну з періодом повної заміни води протягом року, гідрологічного сезону або частіше. У таких озерах відсутня термічна стратифікація, донні відклади представлені мінеральними й гумусними мулами з умістом органічної речовини до 30%.

У проміжну групу, третю, зі змішаним типом лімногогенезу, входять слабопроточні озера, у яких формуються органо-силікатні, змішані й карбонатні відклади з умістом органічної речовини 30–70%. В озерах переважають транзитно-акумулятивний або акумулятивний тип водообміну, умовна зміна водної маси здійснюється протягом року або повільніше. Трансформовані й основні водні маси складають близько 50%, у профундальній зоні часто спостерігається дво- або тришарова стратифікація води.

Фактичний матеріал щодо хімічного складу відкладів понад 200 озер дає можливість достовірно проводити типізацію і класифікацію сучасного та голоценового осадонагромадження, районувати територію за типами седиментогенезу. Аналіз отриманих матеріалів засвідчує, що в межах Українського Полісся озера можна розглядати як басейни нагромадження органічної речовини.

За кількістю і площею переважають озера зі змішаним типом озерного седиментогенезу. Для озер із теригенним типом седиментогенезу характерні незначні потужності відкладів і більші показники середніх глибин. Біогенний тип седиментогенезу характерний для озер із незначною проточністю і максимальним ступенем заповнення улоговини відкладами (ОР > 70%).

Статистичне опрацювання вмісту головних хімічних компонентів у донних відкладах водойм Українського Полісся засвідчує, що для водойм біогенного типу озерного седиментогенезу середні показники органічної речовини становлять 71,2% (сухої речовини), Fe_2O_3 – 4,7%, CaO – 5,4%, змішаного – 52,7%, 7,1%, 4,8% і теригенного – 18,4%, 5,8%, 8,7%, відповідно.

Диференціація території за типами седиментогенезу відображає специфіку озерного накопичення осадів, має важливе значення для різних напрямів раціонального використання озер, насамперед, як джерела екологічно чистих органічних матеріалів. Очевидно, що для територій із біогенним типом озерного седиментогенезу основним напрямом використання є добування сапропелів – як лікувальних грязей, сировини для косметичних препаратів, кормових добавок, тобто, де

необхідна значна концентрація органічної речовини й мінімальний вміст забруднюючих компонентів. Через унікальність окремих сапропелевих покладів велика частина їх повинна охоронятися, а озера в мальовничих ландшафтах слід використовувати для оздоровлення населення.

Найбільш проточні й пов'язані з водозбором озера з теригенним типом озерного седиментогенезу за кількісними параметрами донних відкладів і у зв'язку з малими середніми потужностями відкладів найменш придатні для добування сапропелевої сировини. Значна проточність водойм зумовлює нагромадження у відкладах екологічно небезпечних складників, що спричиняє вторинне забруднення води. Багато озер із теригенним типом седиментогенезу потребують уваги як об'єкти відновлення і стабілізації екоситуацій.

На територіях, де поширені озера зі змішаним типом озерного седиментогенезу, доцільне добування сировини для приготування сапропелевих добрив, бурових розчинів, компонентів для будівництва.

Залежно від завдань досліджень і використання озер застосовуються різні класифікаційні схеми, які ґрунтуються на хімічному й речовинному складі донних відкладів; їх огляд наведений у працях^{25, 26}. Ми дотримуємося схеми, що ґрунтується на геохімічному вивченні даних, які визначають генетичні властивості відкладів: успадкованість озером речовини порід водозбору, зміни седиментогенезу в процесі розвитку лімносистем, нагромадження новоутворених сполук тощо.

Геохімічна індикація умов осадконагромадження у водоймах, виявлення її за допомогою статистичної оцінки розподілу мікроелементів, разом з іншими методами дослідження відображає різноманітну лімнохімічну інформацію, яка має певну цінність у ландшафтознавчо-геохімічних дослідженнях, палеогеохімічних, палеогеографічних і палеолімологічних реконструкціях, у кореляції осадових товщ і горизонтів, вивченні закономірностей еволюції озер і встановленні їхніх антропогенних змін, у вивченні генезису озерних відкладів, виявленні якості донних відкладів і їх використанні в господарстві залежно від складу та властивостей.

Геохімічними індикаторами є процеси накопичення головних осадоутворюючих компонентів, головні з яких: органічна речовина – показник теплого клімату, літотипу й фації відкладів, трофічного статусу

²⁵ Ільїна О. В., Ільїн Л. В. Озерні сапропелі Полісся України: види, ресурси, господарське використання. Рациональне використання природних ресурсів в умовах глобальних викликів : колективна монографія / за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Астрія, 2025. С. 265–277.

²⁶ Ільїна О. В., Ільїн Л. В. Конструктивно-географічне оцінювання водних та сапропелевих ресурсів озер та штучних водойм Українського Полісся. *Theoretical and applied aspects of sustainable development of Ukrainian regions* : scientific monograph. Vol. 1. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2025. P. 106–125. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-539-6-5>

водойм у певному віковому та еволюційному інтервалі його розвитку; концентрація понад 80 % органіки як торфонагромадження – це показник теплого й сухого клімату, обміління водойми, прибережної фації, індикатор раннього голоцену; карбонатонакопичення – процес полігенної седиментації кальциту й доломіту, показник теплого та помірно-вологого клімату; концентрація кальцію понад 30 % (формування вапна) – індикатор евтрофної стадії біогеохемогенного карбонатуотворення та прибережно-субліторальної фації; збільшення частки доломіту і зниження загального карбонатонакопичення – показник зростання вологості, похолодання, посилення аллохтонної седиментації, зниження трофічного рівня водойми; відкладення силікатного матеріалу – процес теригенного осадотворення (пісків, глин, мулів), показник холодного й вологого клімату, зміни якого у напрямку потепління і зменшення вологості відображаються зростанням значень суми і співвідношення Si і Al; співвідношення уламкового, алевритового й тонкодисперсного глинистого матеріалу – індикатор низькотрофного стану середовища (оліготрофних, мезотрофних, малоєвтрофних стадій).

Палеолімнологічна інформативність наведених геохімічних індикаторів різна й залежить від походження улоговин озера, характеру осадового комплексу водозбору тощо.

ВИСНОВКИ

Розвиток озерних екосистем (лімносистем) зумовлюється сукупним впливом зональних і азональних чинників і відображає характер зв'язків внутрішнього стану системи із зовнішніми умовами навколишнього середовища. Нагромадження поживних речовин у процесі еволюції сформувало певний тип і рівень трофності, який визначається надходженням речовин, їх акумуляцією і внутрішньоводійним перетворенням.

Сучасні басейни озерної седиментації досліджуваного регіону характеризуються дрібноконтурністю, різноманітністю форм й об'єктів, що зумовлює склад, швидкість утворення і потужність осадової товщі. Вміст макро- і особливо мікроелементів у сучасних відкладах різнотипних водойм засвідчує, що вміст більшості з них помітно варіює. Незначна площа при різних глибинах водойм визначає тісний зв'язок із літогеохімічними особливостями покривних порід водозборів, склад джерел речовини, різноманітність відкладів і стратоконкомплексів.

Наведені матеріали переконливо підтверджують зміни природного середовища на основі аналізу геохімічної інформації. Діагностика й оцінювання сучасного стану озерних екосистем, що ґрунтується на використанні ландшафтознавчо-геохімічних методів із наступною

структурно-динамічною інтерпретацією даних, дає змогу здійснювати прогноз можливих змін при різному ступені антропогенного впливу й розв'язувати завдання мінімізації негативних впливів.

Серед установлених для водойм регіону видів озерного осадонакопичення домінуючим є органічне. Більшість досліджених водойм є озерами-продуцентами органічної речовини. Ураховуючи роль органічного складника в формуванні відкладів озер, досліджувану територію можна віднести до великої лімногеохімічної області озер-органонагромаджувачів. Закономірності (особливості) седиментації породоутворюючих компонентів у розрізах дає змогу порівнювати динаміку розвитку озер у просторі й часі. Узагальнення великого матеріалу дало можливість виділити у водоймах найпоширеніші різновиди осадових комплексів.

Закономірності розподілу й динаміки хімічних елементів у відкладах різного походження та різнотипних водоймах розширює і поглиблює уявлення теорії гумідного континентального літогенезу з позицій порівняльно-літологічного методу. Практичне значення геохімічного вивчення відкладів водойм закладені в його методичній основі. Розуміння (знання) процесів формування складу відкладів і чинників, які його визначають (контролюють), необхідне для науково обґрунтованого прогнозу розвитку водойм під впливом техногенного навантаження і розробки раціональних схем використання.

Закономірності просторового розподілу, генезису, конфігурації та внутрішньої будови водойм, формування їхніх донних відкладів різних типів, динаміки головних геохімічних параметрів водойм у просторі й часі полягають у тому, що вони мають прямий зв'язок із будовою рельєфу і надр, гідрокліматичними й ґрунтово-рослинними та загалом ландшафтними регіональними умовами.

З'ясування геохімічних особливостей умов озерного осадонакопичення дає можливість за допомогою непрямих геохімічних показників вивчати речовинну сторону взаємодії, закономірності функціонування і динаміки озерних геосистем. Установлення ритмічності або спрямованості в мінливості їх геохімічних показників відкриває можливості передбачення і створення прогнозів. Це потрібно для розробки оптимальних умов гіпергенних перетворень на водозборах і при обґрунтуванні принципів боротьби з антропогенною евтрофікацією водойм, виявленні парагенетичних асоціацій мікроелементів, з'ясування узагальнюючих геохімічних показників ландшафтно-геохімічних умов осадонагромадження, оцінюванні ролі зональних й азонних чинників у формуванні геохімічної специфіки осадонагромадження у водоймах, а також для вивчення змін або ритміки певних умов седиментогенезу (природних і антропогенних).

АНОТАЦІЯ

Розглянуті теоретико-методологічні і прикладні аспекти дослідження та можливого господарського використання продуктів озерного седиментогенезу в умовах Полісся України. Виявлені просторово-часові відмінності нагромадження озерних відкладів та їх показників (мінеральної складової, вмісту біогенних елементів та ін.) та особливості поширення лімногохімічних осадових комплексів. Дослідження умов озерної седиментації дає можливість за допомогою непрямих геохімічних показників вивчати речовинну складову взаємодії, закономірності функціонування і динаміки озерних екосистем. Сучасні басейни озерної седиментації досліджуваного регіону характеризуються дрібноконтурністю, різноманітністю форм й об'єктів, що зумовлює склад, швидкість утворення і потужність осадової товщі. Вміст макро- і особливо мікроелементів у сучасних відкладах різнотипних водойм засвідчує, що більшість з них помітно варіює.

Література

1. Argillier C., Carriere A., Poikane S., Van de Bund W. Lake Hydromorphological Assessment and Monitoring Methodologies. European survey, EUR 31029 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022. DOI: 10.2760/274896, JRC127847.
2. Cole G. A., Weihe P. E. Textbook of Limnology. 5th ed. Waveland Press. 2016. 440 p.
3. Oakenfold S. Limnology and Freshwater Ecology. Syrawood Publishing House, 2017. 241 p.
4. Bertrand S., Tjallingii R., Kylander M., Wilhelm B., Roberts S., et al. Inorganic geochemistry of lake sediments: A review of analytical techniques and guidelines for data interpretation. *Earth-Science Reviews*. 2024. № 249. 104639. DOI: 10.1016/j.earscirev.2023.104639.
5. Frančišković-Bilinski S., Sakan S. Geochemistry of Water and Sediment. *Water*. 2021. № 13 (5). P. 693. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13050693>
6. Fluet-Chouinard E., Messenger M. L., Lehner B., Finlayson C. Freshwater Lakes and Reservoirs. In: Finlayson C., Milton G., Prentice R., Davidson N. (eds) *The Wetland Book*. Springer, Dordrecht. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007>
7. Hoffman S. Lake sediment geochemistry. In: *General Geology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer, Boston, MA. 1988. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-30844-X_59
8. Ran F., Nie X., Wang S., Xiao T., Yang C., Liu Y., Wang L., Liu Y., Chu X., Li Z. A significant loop of lake sedimentation state links catchment eco-surroundings and lake biogenic regime shifts. *Limnol Oceanogr*. 2023. № 68. P. 1775–1790. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.12385>

9. Ільїн Л. В. Озерні відклади. Екологічна енциклопедія: У 3 т / редкол.: А. В. Толстоухов (гол. ред.) та ін. Київ : ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2008. Т. 3: О–Я. С. 17.
10. Ільїн Л. В. Озерознавство: Укр.-рос. сл. Поняття і терміни. Луцьк : Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2001. 112 с.
11. Шевчук М. Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання. Луцьк : Надстир'я, 1996. 384 с.
12. Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів : навч. посібник. Київ : Либідь, 2000. 472 с.
13. Ільїн Л. В. Ландшафтно-геохімічні аспекти дослідження лімно-систем. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 130–136.
14. Ilyin L. Geochemical peculiarities of bottom sediments in polytypic lakes of Ukrainian Polissya. *Limnological Review*. 2002. № 2. P. 155–163.
15. Ilyin L. Właściwości geochemiczne osadów dennych różnych typów jezior Polesia Ukrainińskiego. Naturalne i antropogeniczne przekształcenia jezior: VI Konferencja limnologiczna. Lublin – Okuninka : Maria Curie-Skłodowska University, 2002. P. 21–22.
16. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся : монографія : у 2-х т. Т. 1. Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. Луцьк : РВВ «Вежа» ВДУ ім. Лесі Українки, 2008. 316 с.
17. Ільїн Л. В. Геохімічні особливості донних відкладів озер Полісся України. *Агрехімія і ґрунтознавство : Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Харків – Луцьк, 2002. Кн. 4. С. 89–98.
18. Ільїн Л. В., Ільїна О. В. Вплив техногенезу на седиментаційні процеси в озерах Українського Полісся. *Екологічні аспекти регіонального партнерства в надзвичайних ситуаціях* : збірник матеріалів I Міжвузівської науково-методичної конференції (Харків, 21 листопада 2012 р.). Харків : НУЦЗУ, 2012. С. 43–45.
19. Pasichnyk M. P., Ilyin L. V., Ilyina O. V. Composition and Properties of Bottom Sediments of the Shatsk Lakes (West Polesia of Ukraine). *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Nov 2023. Vol. 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520145>
20. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся. У 2-х т. Т. 2: Регіональні особливості та оптимізація. Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. 400 с.
21. Ільїн Л. В., Мольчак Я. О. Озера Волині. Лімнологічно-географічна характеристика. Луцьк : Надстир'я, 2000. 140 с.

22. Довідник ресурсів сапропелю України. Кн. 1. Волинська область. Київ : ДГП «Північукргеологія», 1994. 194 с.

23. Ilyina O. V., Ilyin L. V. Biogenic Elements of Lake Sediments as Indicators of Natural and Anthropogenic Processes. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* : 18th International Conference. April 2025, Vol. 2025. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510123>

24. Ilyina O., Ilyin L. Forms of Lake Basins of the Ukrainian Polissya Region and Their Transformations in the Process of Accumulation of Bottom Deposits. *GeoTerrace-2023* : International Conference of Young Professionals. Oct 2023. Vol. 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510066>

25. Ільїна О. В., Ільїн Л. В. Озерні сапропелі Полісся України: види, ресурси, господарське використання. *Раціональне використання природних ресурсів в умовах глобальних викликів* : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Астроя, 2025. С. 265–277.

26. Ільїна О. В., Ільїн Л. В. Конструктивно-географічне оцінювання водних та сапропелевих ресурсів озер та штучних водойм Українського Полісся. Theoretical and applied aspects of sustainable development of Ukrainian regions : scientific monograph. Vol. 1. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2025. P. 106–125. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-539-6-5>

Information about the authors:

Ilyina Olga Viktorivna,

Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor at the Department
of Hotel and Restaurant business, Tourism and Recreation,
Lesya Ukrainka Volyn National University
13, Voli avenue, Lutsk, 43025, Ukraine

Ilyin Leonid Volodymyrovych,

Doctor of Geographical Sciences,
Professor at the Department
of Hotel and Restaurant business, Tourism and Recreation,
Lesya Ukrainka Volyn National University
13, Voli avenue, Lutsk, 43025, Ukraine