

Геохімічні особливості накопичення і міграції важких металів у торфах Львівської області

Мирослава Богданівна Яковенко¹,

к. геол. н., ст. дослідник, учений секретар, ¹Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна,
e-mail: myroslavakoshil@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>;

Юрій Володимирович Хоха¹,

д. геол. н., ст. дослідник, ст. наук. співробітник,
e-mail: khoha_yury@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>;

Олександр Володимирович Любчак¹,

к. геол. н., ст. дослідник, ст. наук. співробітник,
e-mail: lubchak1973@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>

У статті подано розширену геохімічну характеристику торфів Львівської області, визначено їхній типовий мікроелементний склад та геохімічну спеціалізацію, встановлено регіональні закономірності розподілу і накопичення хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних і геотехнологічних показників за допомогою комплексного підходу з застосуванням методів математико-статистичного аналізу, а також досліджено фактори, які контролюють вміст, розподіл і генезис мікроелементів у торфовищах Львівської області. Представлені результати аналізу розподілу хімічних елементів, мікроелементів компонентів та геолого-геохімічних показників в торфах Львівської області. Зола 248 проб торфу, відібраних на глибинах 0,1-7 м на 110 представницьких для Львівської області ділянках, які виділені як самостійні торфові родовища, проаналізовані спектральним напівкількісним аналізом на вміст 21 хімічного елементу (Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Sn, Ba, Yb, Pb), а також інші геохімічні характеристики торфу (рН, зольність, вологість, ступінь розкладу, вмісти гумусу, СаО, Р₂О₅, К₂О, азоту гідролізованого, азоту аміачного). Комплексний підхід у вивченні геохімічних характеристик торфів дозволив виявити просторові геохімічні особливості торфів низинного типу території Львівської області, визначити їхній типовий мікрокомпонентний склад, встановити регіональні закономірності їхньої розподілу і накопичення (зміни) – значну нерівномірність концентрації мікроелементів за площею поширення, високі показники вмісту молибдену, ітербію, стронцію, кобальту, срібла, барію, берилію та свинцю відносно кларків літосфери, ґрунтів, золи рослин. За результатами кореляційного, факторного і кластерного аналізів можна виділити наступні типоморфні геохімічні асоціації торфів Львівської області: Ti-Ga-Cu-Y-Pb-Sc-V-Yb-Be яка пов'язана з особливостями природних ґрунтоутворювальних процесів геохімічних ландшафтів; Ni-Mo-Zn є, можливо, техногенного походження і пов'язана з накопиченням важких металів у ґрунтах внаслідок розробки родовищ корисних копалин. Аналіз просторового розподілу розподіл і математична обробка результатів аналізів, геохімічних ознак, параметрів, вмістів компонентів і мікрокомпонентів, а також складу та наведених варимакс-факторних ознак і інших описаних вище інтегральних і монокомпонентних параметрів торфів на досліджуваній території вказує на їхній задовільний стан, з чого можна зробити висновок про відсутність регіонального забруднення торфів Львівської області важкими металами (крім Мо) або про зовсім незначний регіональний вплив такого забруднення.

Ключові слова: торф, Львівський регіон, мікроелементний склад, концентрація, кларк концентрації, накопичення.

Як цитувати: Яковенко М. Б. Геохімічні особливості накопичення і міграції важких металів у торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 105-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-07>

In cites: Yakovenko M. B., Khokha Yu. V., Lyubchak O. V. (2022). Geochemical features of the accumulation and migration of heavy metals in the peats of the Lviv region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 105-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-07> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Торфовища є частиною біосфери Землі, які займають приблизно 3% від загальної площі суші. Таким чином, роль, яку вони відіграють у геохімічних циклах макро- і мікроелементів, є важливою в глобальному масштабі. У той час як біогеохімічні процеси на торфовищах у Скандинавії, країнах Балтійського регіону та США інтенсивно вивчаються (наприклад [1-3]), про геохімію торфовищ середніх широт відомо набагато менше.

Більшу частину матеріалу торфовищ складає торф, який з геологічної точки зору являє собою породу-біоліт, складену з рослинних залишків на ранніх стадіях діагенезу, які розпочинають

складний шлях вуглефікації. Торф – складна полідисперсна багатоконпонентна система, яка складена з п'яти основних груп органічних сполук: білків, ліпідів, вуглеводнів, пігментів та лігніну. Кожна з груп у свій спосіб впливає на геохімічні особливості торфу, оскільки володіє різними кислотно-основними властивостями, редокс-потенціалом та здатністю до утворення слабких та сильних зв'язків з катіонами та аніонами. Втім, властивості торфу переважно регулюються гуміновими кислотами, які ми розглядаємо як протоке-роген [4].

Фізичні властивості торфу залежать не тільки від властивостей окремих компонентів, але

й від співвідношень між ними, ступеня розкладання або дисперсності твердої частини, що оцінюється питомою поверхнею. Хімічний склад визначається головно умовами генезису на глибших стадіях вуглефікації та складом рослин-торфоутворювачів.

Практично весь торф, що видобувається, використовують як паливо та покращувач якості ґрунту (добрива). Крім того, у малих масштабах торф є сировиною для одержання різних видів продукції та речовин для потреб хімічної промисловості, сільського господарства, енергетики, медицини, будівництва. Для цього проводиться вилучення солей гумінових кислот (гуматів) переважно методом вилуговування.

Дослідження спрямовані на вивчення та інтерпретацію геохімічних та геотехнологічних особливостей, компонентного складу, вмісту макро- та мікроелементів в торфі мають як загальнонауковий фундаментальний характер, так і прикладний, і можуть використовуватися для різних цілей, зокрема: якісної оцінки торфу, визначення можливості його подальшого використання в тій чи іншій галузях, прогнозу його експлуатаційної, технологічної та енергетичної цінності, а також для вирішення питань щодо генезису торфових родовищ та перспектив їхнього освоєння. Якість торфу та спектр його застосувань крім технологічних характеристик, таких як зольність, ступінь розкладання та вміст гумінових речовин, залежить і від концентрації мікроелементів, присутніх у торфі.

Торфовища можна розглядати як індикатори та осередки забруднення металами завдяки високій адсорбційній ємності по відношенню до металів, а також підвищеній розчинності багатьох перехідних металів (марганцю, міді, цинку, заліза, нікелю, кобальту) у відновній обстановці та їхній здатності створювати з органічною речовиною рухомі форми сполук. Торф, завдяки здатності адсорбувати та утримувати протягом часу свого формування іони важких металів, є чудовим індикатором їхнього розповсюдження та накопичення, особливо на техногенно навантажених територіях. Води, які циркулюють по масиву торф'яного родовища, приносять левову частку розчинених солей важких металів. Незначна їхня частина надходить разом із неорганічною складовою торфів, втім, органічна частина насичується саме з водних джерел.

Торф – досить активний природний сорбент завдяки своєму складу, структурі та властивостям, зокрема великій кількості ароматичних гідроксильних (які володіють кислотними характеристиками) та карбоксильних функціональних груп. Він за певних умов може зв'язувати та накопичувати в собі значні кількості мікроелементів,

що входять до залишків живої органічної речовини, як у вигляді осадових, відкладених, твердих частинок, так і у вигляді сорбованих або комплексують іонів металів, у тому числі важких, токсичних і радіоактивних (в окремих випадках їхній вміст може сягати промислових значень). Аналіз вмісту окремих мікроелементів торфів, пов'язаних із техногенним навантаженням, можуть надати відомості щодо змін екологічної ситуації у часі формування покладу. Деякі елементи мають високу вартість та затребуваність промисловістю, і торф може бути потенційним джерелом для їх вилучення після його використання (наприклад із золи або димів при спалюванні).

Хімічні елементи торфів мають як природні, так і антропогенні джерела походження. Основними природними джерелами металів, що накопичуються в торфовищах можуть бути атмосферні опади, рослини, ґрунтові води.

Вміст металів в торфах залежить від багатьох локальних факторів конкретного місця, таких як клімат, вологість місцевості, геоморфологічні умови та рельєф, поверхневий стік і підземні води, вплив гідрологічних і біогеохімічних процесів, що відбуваються на даній і прилеглих територіях, диференціація хімічних елементів в процесі міграції, різноманітність рослин-торфоутворювачів, тваринний світ. Здатність торфу накопичувати сліди металів залежить від спорідненості іонів металів до зв'язування з загальними функціональними групами в структурі торфу, яка зображається в послідовності Hg>Cu>Pb>Ni>Zn>Co>Cd>Mn [5].

Антропогенний чинник, який особливо відчутний в регіонах з насиченою промисловою інфраструктурою, відбивається в матеріалі торф'яних відкладів, які накопичувалися протягом неогену і продовжують відкладатися і зараз, фіксуючи зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі. Торф може служити хорошим індикатором як недавніх, так і історично змінених антропогенних навантажень. В той самий час накопичення металів у торфі має ярко виражений регіональний характер, тому важливим є регіональний аналіз мікроелементів з урахуванням їх віддаленості від джерела забруднення [6].

Торфовища накопичують різні хімічні елементи і відображають типовий елементний склад навколишнього середовища [7, 8].

Отже, дослідження геохімічних та геотехнологічних особливостей торфів мають важливе значення у розв'язанні проблем енергетики, сільського господарства, екології, хімічної промисловості та медицини.

Історія досліджень.

В науковій літературі наявні публікації, що присвячені геохімічним дослідженням торфів та

накопиченню мікроелементів в них. Це, як правило, торфовища Європи - Латвії, Естонії, Білорусії, Норвегії, Бельгії та ін.

Що стосується досліджень торфів і торфовищ території західних областей України, то публікації в основному присвячені сучасному стану, перспективам і проблемам їх раціонального використання та охорони [9-11]. Крім того наявний масив даних технічного характеру, який докладно описує способи переробки торфу. Розподіл елементів (у тому числі важких металів) жодним чином не розглядається в цих роботах.

Геохімічні дослідження торфових родовищ території західного регіону України, Львівської області, та їхнього мікрокомпонентного складу, в науковій літературі висвітлені вкрай епізодично та поверхнево [12-14].

Іванців О. Е. та Уженков Г.А. [12] досліджували фізико-хімічні особливості, ботанічний склад та якісні характеристики золи торфів окремих родовищ Прикарпаття (Івано-Франківська та Львівська області) з метою встановлення перспектив їх використання в народному господарстві. Зокрема, спектральними аналізами визначили підвищені вмісти Sr, Ba, Cu, Zn, Mn, вивчили ботанічний склад диференціально-термічним аналізом та радіологічні властивості торфів (природну β-активність).

В роботах [13,14] автори розглянули питання валового хімічного складу (показники конституційної води, втрати при прожарюванні, вміст мінеральних речовин – вуглецю та азоту органічних сполук, вміст загального азоту, вміст діоксиду вуглецю, карбонатів та хімічних компонентів мінеральної частини, до складу якої входять оксиди Si, Fe, Al, Mn, Ti, Ca, Mg, K, Na, P та S) і мінералогічного складу мінеральної частини (рентгендифрактометричний аналіз) торфових ґрунтів та торфових горизонтів Малого Полісся на прикладі окремих масивів (модальних ділянок) двох районів (Буський та Жовківський) Львівської області. В публікаціях [13,14] розраховані також молярні відношення різних оксидів з метою виявлення неоднорідності хімічного складу мінеральної частини і диференціації профілю торфових ґрунтів Малого Полісся.

Вивченням торфовищ заходу України, їхнього компонентного складу займалися переважно ще в 60–70-х роках ХХ ст. під час експедиційних геологорозвідувальних робіт, спрямованих на оцінку потенціалу регіонів до вироблення власних торф'яних добрив або палива. Роботи проводились переважно трестом «Північукргеологія», який станом на 2022 рік припинив свою діяльність.

Мета роботи: дослідити геохімічні особливості торфів Львівської області; з'ясувати їхні

основні властивості, їхній типовий мікроелементний склад, геохімічні характеристики та спеціалізацію; встановити регіональні закономірності розподілу і накопичення хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних і геотехнологічних показників у торфах Львівської області, а також просторових змін по площі поширення торфовищ за допомогою комплексного підходу з застосуванням методів математико-статистичного аналізу, а також дослідити фактори, які контролюють вміст, розподіл і генезис мікроелементів у торфовищах Львівської області.

Об'єкт, предмет, фактичний матеріал та методи досліджень.

Об'єкт досліджень - торф'яна маса та її зола з торфовищ Львівської області і ділянок, які виділені як самостійні низинні торфові родовища.

Предмет досліджень – геохімічні особливості торфів Львівської області, регіональні закономірності розподілу і накопичення хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних показників у торфах.

В основу проведених досліджень покладено результати спектрального напівкількісного аналізу 248 проб золи торфу, відібраних на глибинах 0,1-7 м на 110 представницьких для Львівської області ділянках, які виділені як самостійні торфові родовища. Аналізи виконані різними лабораторіями: агрохімлабораторія Львівської міжобласної інспекції "Укрінсторфбуріння", лабораторією ґрунтів відділу географії і меліорації Львівського державного університету імені Ів. Франка, Львівської геологічної експедиції (Галенко В.Г. та ін.) на вміст 21 хімічного елементу (Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Sn, Ba, Yb, Pb), CaO, P₂O₅, K₂O, азоту гідроліз., азоту аміачн. та геохімічних показників (рН, зольність, вологість, ступінь розкладу, вміст гумусу). В золі торфів не виявлені такі елементи як Hg, Cd, As, Tl, з огляду на необхідність використання гідридної приставки для їхнього виявлення і квантифікації. Для багатошарових родовищ торфу обчислено середньозважені значення вмісту елементів, які згодом використано для аналізу, інтерпретації результатів та побудов.

Обробка та інтерпретація основних геохімічних показників та даних за результатами спектрального напівкількісного аналізу проводились з використанням програм MS Excel, STATISTICA: створення комп'ютерної бази даних, статистична обробка геохімічних даних методами математичної статистики – розрахунок основних статистичних характеристик розподілів вмістів хімічних елементів (середнє, мінімальне, максимальне та модальне значення, медіана, дисперсія, коефіцієнт варіації та ін.); побудова лінійних геохімічних спектрів; розрахунок та аналіз кореляційних

матриць та коефіцієнтів кореляції з метою виявлення парагенетичних асоціацій елементів; ранжування величин кореляційних зв'язків; виділення типоморфних геохімічних асоціацій мікроелементів для торфів досліджуваного регіону за допомогою кластерного та факторного аналізів, а також їх рівень накопичення і ступінь неоднорідності розподілу.

Результати. Територія Львівської області, яка геоморфологічно знаходиться переважно на Волино-Подільській височині і характеризується (у контексті розгляду торфоутворення) відносно глибоким врізанням рік та струмків, що розділяють поверхню на пласкі субмеридіанальні вододіли (крім території Малеого Полісся), попадає в межі трьох торф'яних областей [15-17]: Малополюської (північно-західна частина Львівщини), Лісостепової - Волинської (західна частина Червоноградського району Львівської обл.) і Подільської (центральна частина Львівської обл.) райони і Карпатської - Передкарпатський і Карпатський райони (південна частина Львівської обл.) (рис. 1).

Більшість торфовищ Львівської області (99,9 %) низинного типу, як за рослинністю, так і за типом покладу, з них до долин і заплавл річок та струмків належать 95 % усіх родовищ. Великі родовища локалізовані в основному в області Малеого Полісся, заторфованість якого майже удвічі більша за заторфованість всієї області та становить 4,4 % [18].

Загальні закономірності розподілу хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних показників у досліджених торфах Львівської області, які ілюструють статистичні характеристики їхнього розподілу - середнє, мінімальне, максимальне та модальне значення, медіана, дисперсія, коефіцієнт варіації та ін., свідчать про значну їх варіабельність та нерівномірність їх концентрації (табл. 1, рис. 2).

Аналіз вмісту мікроелементів у торфах Львівської області показав значну нерівномірність їхньої концентрації за площею поширення [19, 20].

Більшість хімічних елементів у досліджених торфах характеризуються неоднорідним розподілом, високою дисперсією та великою варіабельністю - Ba, Be, V, Y, Yb, Cu, Ni, Sn, Sc, Sr, Pb, Cr, Zn, Zr, Mn, Ti (Коеф. варіації 55 - 150 %); найбільш нерівномірно розподілені Mo, Co, Ga, P і Ag (Коеф. варіації 165-345 %), що говорить про різкі відмінності в умовах їхнього надходження до торф'яного покладу, накопичення рослинами і закріплення на торф'яному біогеохімічному бар'єрі та пов'язано з дією багатьох чинників, основними з яких, очевидно, є диференціація хімічних елементів в процесі міграції, вплив гідрологічних і біогеохімічних процесів, що відбуваються на

даній і прилеглих територіях, різноманітність рослин-торфоутворювачів.

Майже усі мікроелементи (Ba, Be, Sr, P, Zr, Y, Cu, Zn, Sn, Pb, Ti, Ag, Ga, Co, Mo, Ni, Mn, V, Sc, Cr) в досліджуваних торфах мають одномодальний розподіл, що свідчить про їх одностадійне утворення і знаходження в даному об'єкті у вигляді однієї форми (логнормальний закон розподілу вмістів) і можемо говорити про розсіяння вмісту Yb, одночасно у декількох формах знаходження (нормальний закон розподілу вмістів).

Концентраційний ряд хімічних елементів торфів Львівської області за медіанною оцінкою має вигляд: $Ti > Mn > Sr > P > Ba > Zr > V > Ni > Cr > Cu > Pb > Y > Co > Mo > Ga > Yb > Sc > Zn > Sn > Be > Ag$.

У зв'язку з тим, що роботи з розрахунку кларків елементів в торфах не проводились, загальноприйнято оцінювати рівень накопичення елементів в торфах шляхом порівняння зі значеннями їхніх кларків в літосфері, ґрунтах та золі наземних рослин.

Вміст хімічних елементів в торфах Львівської області нижче кларковий в порівнянні з літосферою, ґрунтами і наземними рослинами. Виявлена тенденція до розсіяння халькофільних і сидерофільних елементів, у меншій мірі літофільних. Інтенсивно концентруються літофільні елементи Sr, Yb, Be, Ba, сидерофільні Mo, Co, та халькофільні Pb, Ag в порівнянні з кларками літосфери за О. П. Виноградим [21], ґрунтів за Н. Bowen [22] та відносно фонових значень в ґрунтах України [23], а також з кларками золи рослин за Д. П. Малюгою [21].

Торфи Львівської області характеризуються літо-сидерофільною позитивною геохімічною спеціалізацією за рахунок високого вмісту в них Mo (Кк=5,16) та Yb (Кк=5,15). Група дефіциту (від'ємна халько-сидеро-літофільна спеціалізація) представлена Pb, P, Y, Sn, Ni, Zr, (Mn, V), Cu, Zn, Cr, Sc, (Ba, Ti), Ga, Be (Кк<0,7).

Геохімічний спектр елементів досліджуваних торфів за коефіцієнтами концентрації, нормованими відносно кларків в ґрунтах, виглядає наступним чином (Кк): Mo (4,73), Sr (1,94), Co (1,61), Be (1,29), Ag (1,07), Pb (0,9), P (0,64), Cu (0,6), Yb (0,57), Ni (0,52), Mn, V (0,39), Cr (0,38), Y (0,35), Zn (0,31), Sn (0,30), Sc (0,29), Ba (0,25), Zr (0,18), Ti (0,17), Ga (0,14).

Результати досліджень показали, що торфи Львівської області володіють підвищеними концентраціями Sr, Mo та Pb, а також Yb, Be, Ba, Co, Ag, причому серед них найбільш часто зустрічаються: Mo, Sr, Co (Z = 100%) [24], менше зустрічаються Be і ще менше Ag (Z = 73 і 18% відповідно); найбільш поширеними елементами у тор-

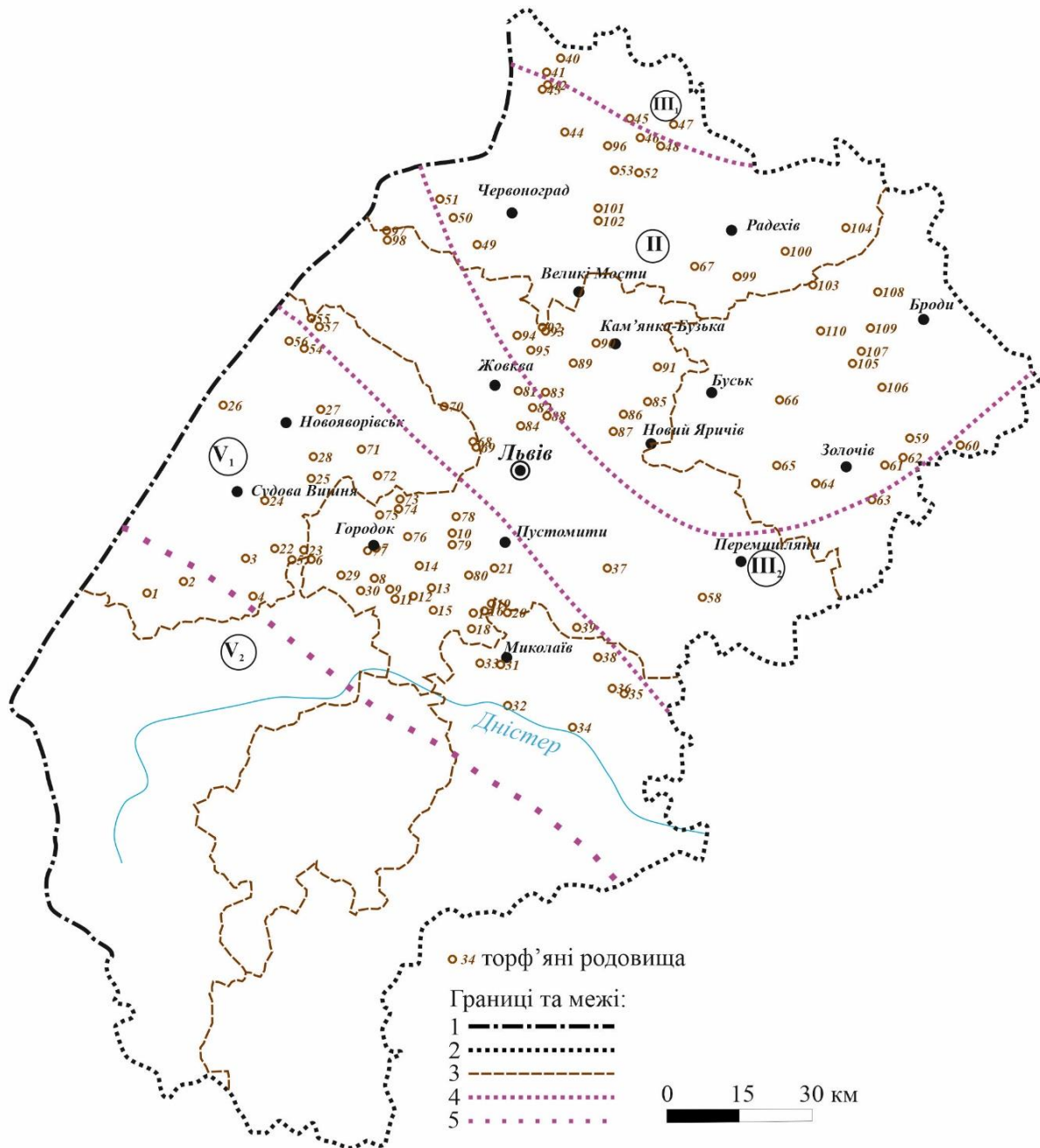


Рис. 1. Карта-схема розташування об'єктів досліджень (в основі схематична карта районування Львівської області (М-б 1:1 500 000))

Умовні позначення до рис. 1:

Границі та межі: 1 – державний кордон України; 2 – межа Львівської області; 3 – райони Львівської області; 4 та 5 – торф'яні області та райони (за матеріалами [16-17]: П - Малополіська торфяна область. Ш - Лісостепова торфяна область: Ш1 - Волинський лісостеповий район, Ш2 - Подільський лісостеповий район. V - Карпатська торфяна область: V1 - Передкарпатський район, V2 - Карпатський.

Родовища торфу: 1 - Болозів; 2 - Біличі; 3 - Ятвяги; 4 - Лановичі; 5 - Роздільне; 6 - Шептичі; 7 - Хишевичське; 8 - Конюшки; 9 - Тулиголове; 10 - Піддолини; 11 - Нове село; 12 - Лівчиці; 13 - Грімне; 14 - Якимчиці; 15 - Козушин; 16 - Гонятичі; 17 - Вербіж; 18 - Сайків; 19 - Демня; 20 - Тростянець; 21 - Хоросно; 22 - Костиликівське; 23 - Канафости; 24 - Стоянци; 25 - Бортятино-Новоселківське; 26 - Краковець; 27 - Вільшаниця; 28 - Вижомля; 29 - Колбасевичі; 30 - Погірці; 31 - Пісочна; 32 - Держев; 33 - Рудники; 34 - Заболотці; 35 - Вовчатичі; 36 - Ходорів; 37 - Бібрка; 38 - Чорний Острів; 39 - Борусів; 40 - Шихтарі; 41 - Пасека; 42 - Подільське I; 43 - Подільське II; 44 - Савчин; 45 - Суховоля; 46 - Тартаків; 47 - Лешатів; 48 - Спасів; 49 - Піддовге; 50 - Діброва; 51 - Карів; 52 - Зубків; 53 - Комарів; 54 - Заводов; 55 - Руда; 56 - Щеплоти; 57 - Немирівське; 58 - Брюховичі; 59 - Чепелі; 60 - Яснище; 61 - Кругов; 62 - Лукавець; 63 - Івачев; 64 - Струтинь II; 65 - Княже; 66 - Ожидів; 67 - Вузлове; 68 - Рясне; 69 - Рясне II; 70 - Лозина; 71 - Лесновичі II; 72 - Дроздовичі; 73 - Артищев; 74 - Черляни; 75 - Незабитівка; 76 - Поріччя; 77 - Коровуж; 78 - Полянка; 79 - Острів (Острів-Сердиця); 80 - Лани; 81 - Костеїв; 82 - Дорошів; 83 - Гребенці; 84 - Грибовичі; 85 - Баси; 86 - Дідилів; 87 - Яричів; 88 - Ситихів; 89 - Грабовець; 90 - Дальнич; 91 - Стрептів; 92 - Туринка I; 93 - Туринка II; 94 - Білий ліс; 95 - Блишчоводи; 96 - Поториця; 97 - Річки I; 98 - Річки II; 99 - Оглядів; 100 - Хмільно; 101 - Воловин; 102 - Воловин II; 103 - Станіславчик; 104 - Сморгів; 105 - Висоцьке; 106 - Дуб'є; 107 - Поніковиця; 108 - Білявці; 109 - Лагодів; 110 - Руда Брідська

Fig. 1. Map-scheme of the location of research objects
(based on a schematic map of the zoning of the Lviv region (Scale 1:1 500 000))

Symbols for fig. 1:

Borders and boundaries: 1 – the state border of Ukraine; 2 – border of the Lviv region; 3 - districts of the Lviv region; 4 and 5 - peat regions and districts (based on materials [16-17]): II - Malopilska peat region. III - Forest-steppe peat region: III1 - Volyn forest-steppe region, III2 - Podilsk forest-steppe region. V - Carpathian peat region: V1 - Pre-Carpathian region, V2 - Carpathian.
Peat deposits: 1 - Boloziv; 2 - Bilychi; 3 - Yatviahy; 4 - Lanovychi; 5 - Rozdilne; 6 - Sheptychi; 7 - Khyshyevyche; 8 - Koniushky; 9 - Tulyholove; 10 - Piddolyny; 11 - Nove selo; 12 - Livchytsi; 13 - Hrimne; 14 - Yakymchytsi; 15 - Kozushyn; 16 - Honiatychi; 17 - Verbizh; 18 - Saikiv; 19 - Demnia; 20 - Trostianets; 21 - Khorosno; 22 - Kostylnykyvske; 23 - Kanafosty; 24 - Stoiantsi; 25 - Bortiatyno-Novoselkovske; 26 - Krakovets; 27 - Vilshanytsia; 28 - Vyzhomlia; 29 - Kolbaievychi; 30 - Pohirts; 31 - PISOCHNA; 32 - Derzhiev; 33 - Rudnyky; 34 - Zabolotts; 35 - Vovchatychi; 36 - Khodoriv; 37 - Bibrka; 38 - Chorny Ostriv; 39 - Borusiv; 40 - Shykhitari; 41 - Paseka; 42 - Podilsk I; 43 - Podilsk II; 44 - Savchyn; 45 - Sukhovoliva; 46 - Tartakiv; 47 - Leshchativ; 48 - Spasiv; 49 - Piddovhe; 50 - Dibrova; 51 - Kariv; 52 - Zubkiv; 53 - Komariv; 54 - Zavodov; 55 - Ruda; 56 - Shchepoty; 57 - Nemyrivske; 58 - Briukhovychi; 59 - Chepeli; 60 - Yasnyshche; 61 - Kruhov; 62 - Lukavets; 63 - Ivachev; 64 - Strutyn II; 65 - Kniazhe; 66 - Ozhydiv; 67 - Vuzlove; 68 - Riasne; 69 - Riasne II; 70 - Lozyna; 71 - Lesnovychi II; 72 - Drozdovychi; 73 - Artyshchev; 74 - Cherliany; 75 - Nezabytvka; 76 - Porichchia; 77 - Koropuzh; 78 - Polianka; 79 - Ostriv (Ostriv-Serdytsia); 80 - Lany; 81 - Kosteiv; 82 - Doroshiv; 83 - Hrebents; 84 - Hrybovychi; 85 - Basy; 86 - Didylyv; 87 - Yarychiv; 88 - Sytykhiv; 89 - Hrabovets; 90 - Dalnych; 91 - Streptiv; 92 - Turynka I; 93 - Turynka II; 94 - Bilyi lis; 95 - Blyshchyvody; 96 - Potorytsia; 97 - Richky I; 98 - Richky II; 99 - Ohliadiv; 100 - Khmilno; 101 - Volovyn; 102 - Volovyn II; 103 - Stanislavchyk; 104 - Smorzhyv; 105 - Vysotske; 106 - Dubie; 107 - Ponikovytsia; 108 - Biliavtsi; 109 - Lahodiv; 110 - Ruda Bidska

фах є ті, кларк концентрації яких 0,5-1,0 і 0,3-0,5, а саме: Pb, P, Cu, Yb, Ni і Mn, V, Cr, Y, Sn; елементи середньої поширеності (Z від 50 до 75%) Zn, Sc характеризуються дуже сильним і сильним накопиченням в торфях (КК 0,3-0,5 і 0,1-0,3); малопоширені елементи в торфях Львівської області представлені тільки одним елементом Ag.

Стронцій в торфях Львівської області є природного походження - високі концентрації зумовлені поширенням осадових порід з підвищеним вмістом Стронцію (гіпси, ангідрити, вапняки, мергелі) та збагаченням ним водоносних горизонтів території західної частини Львівської області, зокрема верхньокрейдового і нижньобаденського [20].

Підвищені вмісти Мо в торфях Львівської області, відображає місцеві регіональні процеси концентрування в масі торфу, і вказує на його накопичення у верхніх шарах торф'яних профілів переважно в природний спосіб. Молибден в торфях Львівської області пов'язаний з наявністю сульфідної мінералізації (сфалерити, халькопірити глинистої товща міоцену, стебниківська світа). Можливими, хоча і малоймовірним, є також і антропогенні джерела Мо – застосування мікродобрив з його вмістом та забруднення продуктами спалювання вугілля, стічними водами нафтопереробних та/або хімічних виробництв [20, 25].

Високі концентрації Pb в торфях Львівської області, відображають місцеві процеси концентрації елемента в масі торфу, і вказують на накопичення у верхніх шарах торф'яних профілів Pb та інших мікроелементів (Co, Yb, Be, Ba, Ag та ін.) як природного так і антропогенного походження [20, 26]. Торфи Львівської області незабруднені важкими металами: індекс забруднення ($IЗ$) більшості з них становить <1 , зокрема для Олова, Міді, Мангану, Цинку, Ванадію, Хрому та Барію $IЗ < 0,5$ демонструє відсутність забруднення; для Кобальту, Свинцю, Срібла і Нікелю $IЗ$ в межах

0,5-0,88 демонструє відсутність або дуже низьке забруднення; спостерігається лише сильне забруднення Молибденом $IЗ$ якого > 6 .

За допомогою кореляційного аналізу розкрилась структура взаємозв'язків між параметрами і виділились найсуттєвіші зв'язки, які в найбільшій мірі визначають зміну інших. При аналізі матриці, приведеній в таблиці 2, отримані наступні “окремі групи” з високими позитивними зв'язками:

I. Yb - Be; Yb - V; V - Be; Yb - Sc; Sc - V; Pb - Yb; Sc - Y; Cu - V; Yb - Ga; Yb - Ti; Cu - Yb; V - Pb; Ga - V; Pb - Be; Pb - Ga; Ti - Be; Ti - Ga; Ti - Y - з силою зв'язку $\geq 0,8$.

II. V - Ba; Ga - Ba; Y - V; Y - Ba; Yb - Y; Cu - Be; Ni - Mo; Sc - Be; Sc - Ga; Sc - Cu; Sc - Pb; Cr - Yb; Cr - Pb; Zn - Cu; Ti - Ba; Ti - V; Ti - Pb; Ti - Sc; Ti - Zr - з силою зв'язку $\geq 0,7$.

III. вологість - вміст гумусу; Be - K_2O ; Ga - Be; Y - Ba; Y - Be; Yb - Ba; Cu - K_2O ; Cu - Ba; Cu - Ga; Ni - Yb; Ni - Cu; Sn - Y; Sn - Yb; Pb - Ba; Pb - Y; Pb - Cu; Sc - Ba; Sc - Sn; Cr - Be; Cr - V; Cr - Cu; Cr - Ni; Ti - Cu - з силою зв'язку $\geq 0,6$.

IV. CaO - pH; Be - Ba; Yb - K_2O ; Ni - Be; Ni - V; Ni - Ga; Pb - Ni; Sc - K_2O ; P - K_2O ; Cr - Ga; Cr - Sc; Zn - Be; Zn - Ga; Zn - Yb; Zn - Mo; Zn - Ni; Zn - Sc; Zr - Ba; Zr - Ga; Zr - Y; Mn - CaO; Ti - Cu; Ti - Cr - з силою зв'язку $\geq 0,5$.

На основі виявлених зв'язків можна зробити наступні висновки:

Між більшістю мікроелементів (параметрів) існують тісні кореляційні зв'язки. “Основними парами” – ядром “основної групи” є Yb - V - Be - Sc. Зрозуміло, що групи характеризуються значним перекриттям. Елементи кожної групи корелюються зі всіма іншими членами цієї групи. Серед елементів вирізняються Стронцій, який не корелюється з жодним з мікроелементів та показує

Таблиця 1

Статистичні параметри розподілу хімічних компонентів та показників у торфах Львівської області

Показники	Кількість проб	Середнє	Медіана	Min	Max	Дисперсія	Ст. відхил.	Коеф. варіац.
pH	107	6,94	7,36	4,16	8,00	0,79	0,89	12,85
Зольність, %	110	41,01	36,98	10,73	96,80	385,98	19,65	47,90
Вологість, %	110	74,57	79,07	20,40	91,90	176,74	13,29	17,83
СаО	101	5,36	1,70	0,01	28,92	47,01	6,86	128,00
Ступінь розкладу	98	28,37	27,78	7,50	52,50	80,79	8,99	31,68
Вміст гумусу	75	18,46	18,10	0,10	35,50	81,31	9,02	48,85
P ₂ O ₅ , %	33	0,22	0,16	0,001	0,82	0,06	0,24	106,48
K ₂ O, %	33	0,02	0,001	0,001	0,16	0,002	0,05	300,35
Азот гідроліз.	33	0,01	0,01	0,0001	0,03	0,0001	0,009	68,18
Азот аміач., %	76	0,02	0,01	0,0001	0,28	0,001	0,03	172,13
Ва, мг/кг	110	125,69	94,36	5,00	1000,00	17084,93	130,71	103,99
Ве	110	0,39	0,50	0,001	1,44	0,13	0,35	91,57
V	110	34,80	26,27	0,10	133,33	995,51	31,55	90,66
Ga	110	2,80	2,00	0,01	52,49	24,65	4,97	177,10
Y	110	10,43	6,95	0,01	45,29	116,18	10,78	103,33
Yb	110	1,70	1,63	0,01	4,94	1,71	1,31	76,93
Co	110	12,88	6,88	0,01	200,00	493,02	22,20	172,44
Cu	110	17,88	10,00	3,12	80,00	238,55	15,45	86,36
Mo	110	5,68	2,69	0,50	71,07	90,64	9,52	167,64
Ni	110	25,97	24,06	3,68	92,11	230,96	15,120	58,53
Sn	110	1,20	1,07	0,01	5,75	0,61	0,78	65,25
Pb	110	10,85	7,98	0,01	68,33	138,49	11,77	108,51
Ag	110	0,05	0,001	0,001	1,30	0,03	0,19	345,18
Sc	110	2,05	1,46	0,01	10,00	5,25	2,29	111,74
Sr	110	483,75	250,00	40,00	3190,70	318221,77	564,11	116,61
P	110	509,60	167,95	1,00	10000,00	1402281,20	1184,18	232,38
Cr	110	26,34	20,00	5,23	150,00	521,12	22,83	86,65
Zn	110	27,49	1,21	0,10	183,33	1598,11	39,98	145,41
Zr	110	72,14	60,00	16,52	300,00	2439,37	49,39	68,46
Mn	110	390,92	342,14	30,00	2133,33	88442,17	297,39	76,07
Ti	110	848,49	686,63	100,00	3000,00	368574,91	607,10	71,55

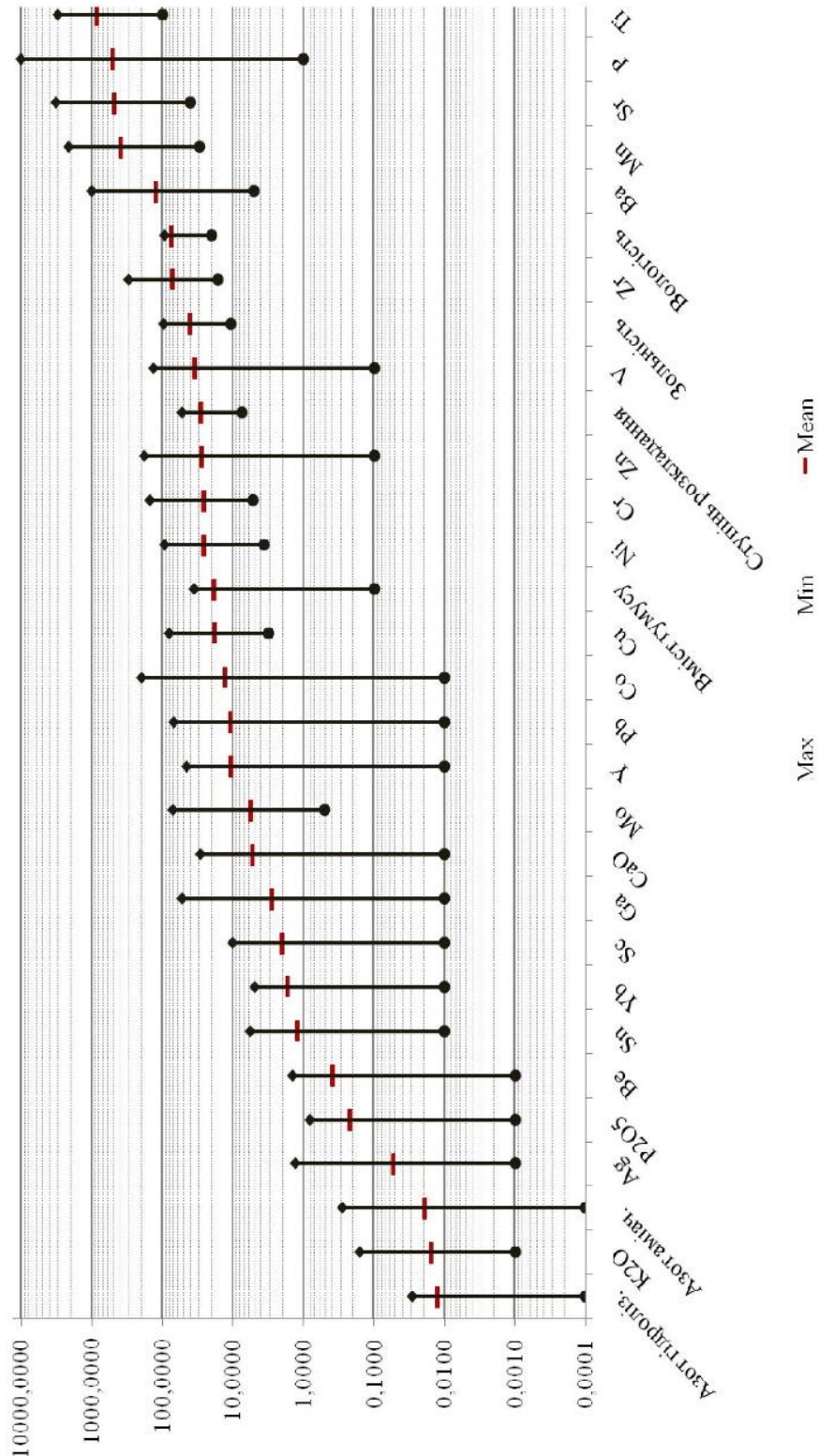


Рис. 2. Геохімічний спектр накопичення мікроелементів, компонентів та розподіл основних показників у торфах Львівської області (одиниці виміру див. табл. 1)
 Fig. 2. Geochemical spectrum of accumulation of microelements, components and distribution of main indicators in peats of the Lviv region (units of measurement, see Table 1)

ників (спостерігається незначна від'ємна кореляція між Стронцієм та Азотом гідролізованим ($r=-0,49$); Кобальт (слабка кореляція Co з Mo , $r=0,47$ та з вмістом гумусу, $r=0,39$), Срібло (слабка кореляція Ag з CaO , $r=0,51$ та Ag з Mn , $r=0,40$), в

меншій мірі Манган (слабка кореляція Mn з CaO , $r=0,51$; з Ag , $r=0,40$ та від'ємна з Pb , $r=-0,41$).

Аналіз рангових величин сил зв'язку між показниками/елементами (для кожного елемента всі значення його парних коефіцієнтів кореляції з

іншими елементами розташовуються у вигляді зростаючого ряду числових значень, тобто впорядкована послідовність значень коефіцієнтів кореляції) показав, що тут можна виділити одну велику за чисельністю асоціацію хімічних елементів - Ba, Be, P, Zr, Y, Yb, Cu, Zn, Sn, Pb, Ti, Ga, Mo, Ni, V, Sc, Cr. В той же час не зважаючи на те, що Кобальт має значущі кореляційні зв'язки з цією

геохімічною асоціацією елементів, розподіл концентрацій цього елемента в торфах має особливий характер, що в певній мірі відрізняє його від цієї асоціації, тобто Кобальт варто виділити в самостійну групу; в самостійні групи виділяються також Mn, Ag і Sr.

Для виділення більш конкретних геохімічних асоціацій побудовані кореляційні профілі (рис. 3, 4),

Таблиця 2

Кореляційна матриця компонентного складу та основних характеристик торфів Львівської області

	pH	R(ср.) ступінь розкладання	Зольність	Вологість	СаО	Вміст гумусу	P2O5	K2O, %	Азот гідроліз. аміач.	Ва	Ве	V	Ga	Y
pH	1.00													
R(ср.) ступінь розкладання	0.03	1.00												
Зольність	-0.04	0.11	1.00											
Вологість	-0.03	0.00	-0.66	1.00										
СаО	0.54	0.17	0.14	-0.08	1.00									
Вміст гумусу	-0.19	0.08	-0.60	-0.25	0.10	1.00								
P2O5	-0.18	0.07	0.04	-0.06	0.10	0.45	1.00							
K2O	-0.02	0.26	0.26	-0.15	-0.32	-0.20	0.41	1.00						
Азот гідроліз. аміач.	-0.16	-0.20	-0.08	-0.02	0.25	0.12	0.12	-0.36	1.00					
Ba	0.23	0.08	0.27	0.41	0.12	0.39	-0.09	-0.33	-0.03	1.00				
Be	-0.32	0.08	0.07	-0.09	0.04	0.13	-0.12	0.14	-0.29	0.59	1.00			
V	-0.59	-0.07	-0.05	0.06	-0.54	0.12	-0.21	0.03	-0.26	0.74	0.85	1.00		
Y	-0.66	0.08	0.03	0.14	-0.55	0.25	0.08	0.03	-0.21	0.66	0.66	0.73	1.00	
Ga	-0.45	-0.02	0.11	0.01	-0.62	0.04	0.29	-0.05	-0.21	0.79	0.81	0.81	0.74	1.00
Yb	-0.70	0.19	0.35	-0.27	-0.49	-0.11	0.14	0.08	-0.42	0.65	0.66	0.73	0.74	0.74
Yb	-0.65	0.06	0.00	0.05	-0.63	0.10	0.11	0.04	-0.31	0.89	0.89	0.83	0.83	0.79
Co	-0.02	0.21	-0.34	0.30	-0.30	0.39	0.34	-0.25	0.11	-0.09	-0.02	0.08	0.15	-0.04
Cu	-0.59	0.08	-0.21	0.31	-0.48	0.32	-0.05	-0.29	-0.03	0.60	0.72	0.84	0.67	0.49
Mo	-0.17	-0.19	-0.44	0.48	-0.41	0.31	-0.06	-0.17	0.17	-0.02	0.17	0.15	0.23	-0.06
Ni	-0.35	-0.01	-0.18	0.44	-0.44	0.22	-0.03	-0.15	0.10	0.40	0.57	0.56	0.59	0.33
Sn	-0.56	0.39	0.15	-0.07	-0.48	0.03	0.22	-0.18	-0.20	0.38	0.49	0.48	0.41	0.61
Pb	-0.45	0.07	-0.18	0.16	-0.64	0.17	0.23	-0.01	-0.17	0.61	0.80	0.82	0.80	0.61
Ag	0.26	0.00	-0.07	-0.13	0.51	-0.21	-0.11	0.23	-0.05	-0.14	-0.22	-0.28	-0.29	-0.21
Sc	-0.77	0.07	0.05	-0.04	-0.58	0.08	0.04	0.14	-0.39	0.63	0.78	0.88	0.77	0.86
Sr	0.36	-0.15	-0.06	0.05	0.01	0.15	-0.28	-0.49	0.27	0.00	-0.25	-0.30	-0.26	-0.31
P	-0.13	-0.19	-0.52	0.39	-0.53	0.37	-0.09	-0.48	0.22	0.23	0.30	0.32	0.30	-0.02
Cr	-0.40	-0.03	-0.31	0.32	-0.39	0.36	0.21	-0.11	0.04	0.42	0.63	0.65	0.59	0.45
Zn	-0.54	-0.07	-0.22	0.37	-0.57	0.36	0.03	-0.20	-0.09	0.47	0.57	0.64	0.50	0.29
Zr	-0.04	0.24	0.31	-0.18	-0.18	-0.24	0.27	0.04	-0.16	0.56	0.30	0.24	0.51	0.51
Mn	0.07	-0.01	0.33	0.06	0.51	-0.03	-0.04	0.17	0.06	-0.11	-0.30	-0.14	-0.32	-0.25
Ti	-0.44	0.20	0.13	-0.06	-0.43	0.00	0.13	-0.08	0.00	0.77	0.80	0.79	0.80	0.80

Жирний шрифт - кореляція значуща при рівні $p < 0,05$.

Кореляційна матриця компонентного складу та основних характеристик торфів Львівської області

	Yb	Co	Cu	Mo	Ni	Sn	Pb	Ag	Sc	Sr	P	Cr	Zn	Zr	Mn	Ti
Yb	1,00															
Co	0,12	1,00														
Cu	0,82	0,12	1,00													
Mo	0,28	0,47	0,38	1,00												
Ni	0,66	0,30	0,69	0,79	1,00											
Sn	0,64	0,00	0,48	0,00	0,29	1,00										
Pb	0,86	0,24	0,67	0,27	0,59	0,44	1,00									
Ag	-0,27	-0,23	-0,20	-0,22	-0,30	-0,20	-0,33	1,00								
Sc	0,89	-0,03	0,78	0,12	0,45	0,63	0,70	-0,21	1,00							
Sr	-0,35	-0,23	-0,22	-0,15	-0,21	-0,15	-0,28	-0,06	-0,35	1,00						
P	0,27	0,04	0,43	0,46	0,43	0,07	0,41	-0,28	0,28	0,06	1,00					
Cr	0,71	0,22	0,63	0,35	0,60	0,26	0,75	-0,11	0,52	-0,26	0,24	1,00				
Zn	0,58	0,31	0,76	0,51	0,59	0,24	0,49	-0,26	0,52	-0,22	0,37	0,35	1,00			
Zr	0,39	-0,12	0,13	-0,03	0,25	0,29	0,35	-0,12	0,33	-0,11	-0,01	0,16	0,03	1,00		
Mn	-0,36	-0,11	-0,19	-0,20	-0,17	-0,35	-0,41	0,40	-0,32	0,02	-0,33	-0,24	-0,13	-0,24	1,00	
Ti	0,83	-0,06	0,63	0,04	0,51	0,48	0,75	-0,20	0,79	-0,25	0,26	0,57	0,35	0,71	-0,32	1,00

за допомогою яких встановлений характер зв'язків між вмістами елементів, тобто вивчена їх поведінка в період формування торф'яних покладів. В результаті виділені наступні парагенетичні асоціації елементів: Be - V - Yb - Cu - Pb - Cr - Sn; Ba - Ga - Y - Sc - Ti - Zr; Co - Mo - P; Zn - Ni; Ag - Mn.

Для виділення типоморфних геохімічних асоціацій використано факторний (метод головних компонент) і кластерний аналізи, за допомогою яких встановлений характер зв'язків між вмістами елементів, тобто вивчена їх поведінка в період формування торф'яних покладів.

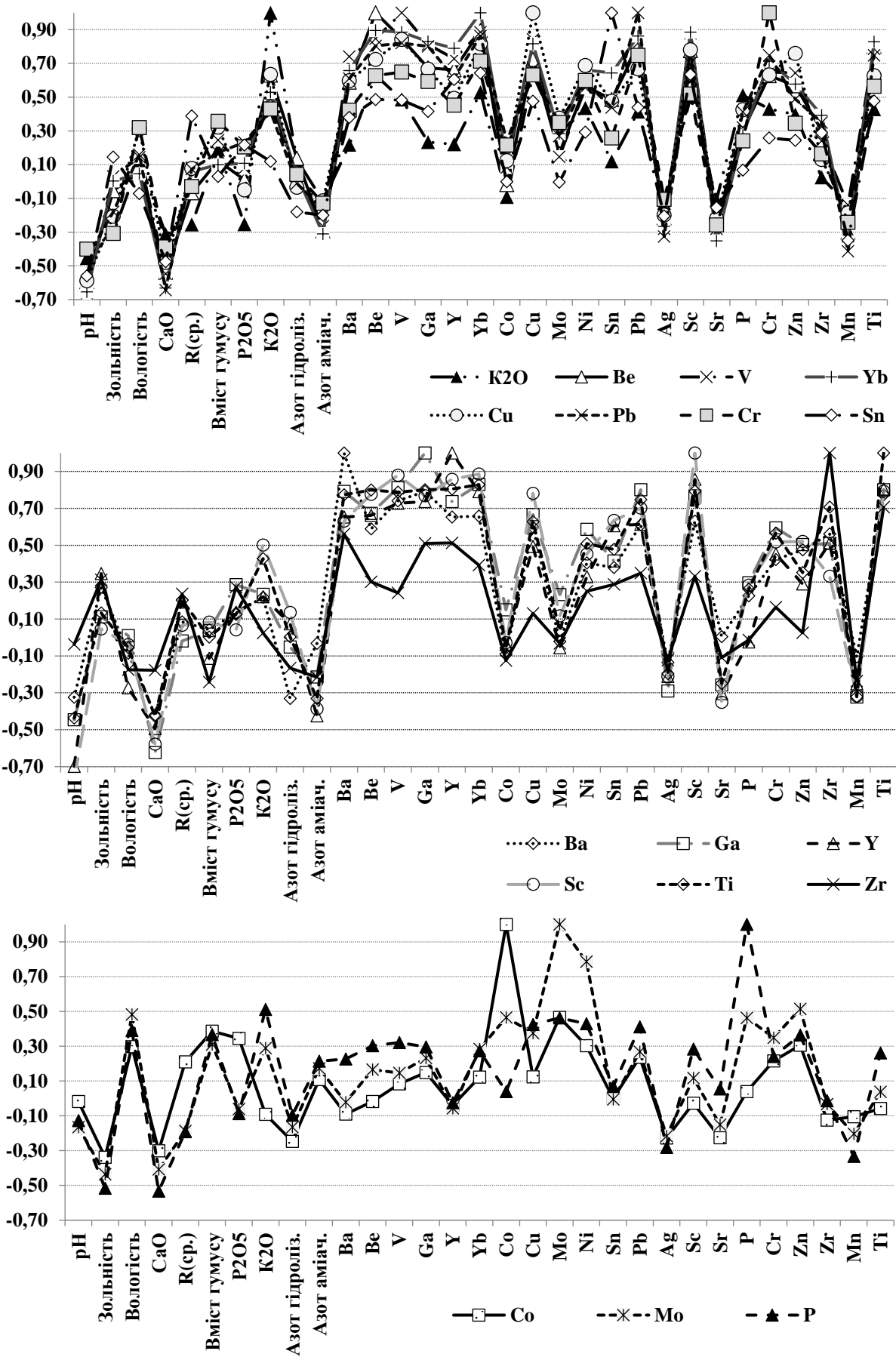


Рис. 3. Кореляційні профілі розподілу компонентів в торфах Львівської області.

Fig. 3. Correlation profiles of component distribution in peats of the Lviv region

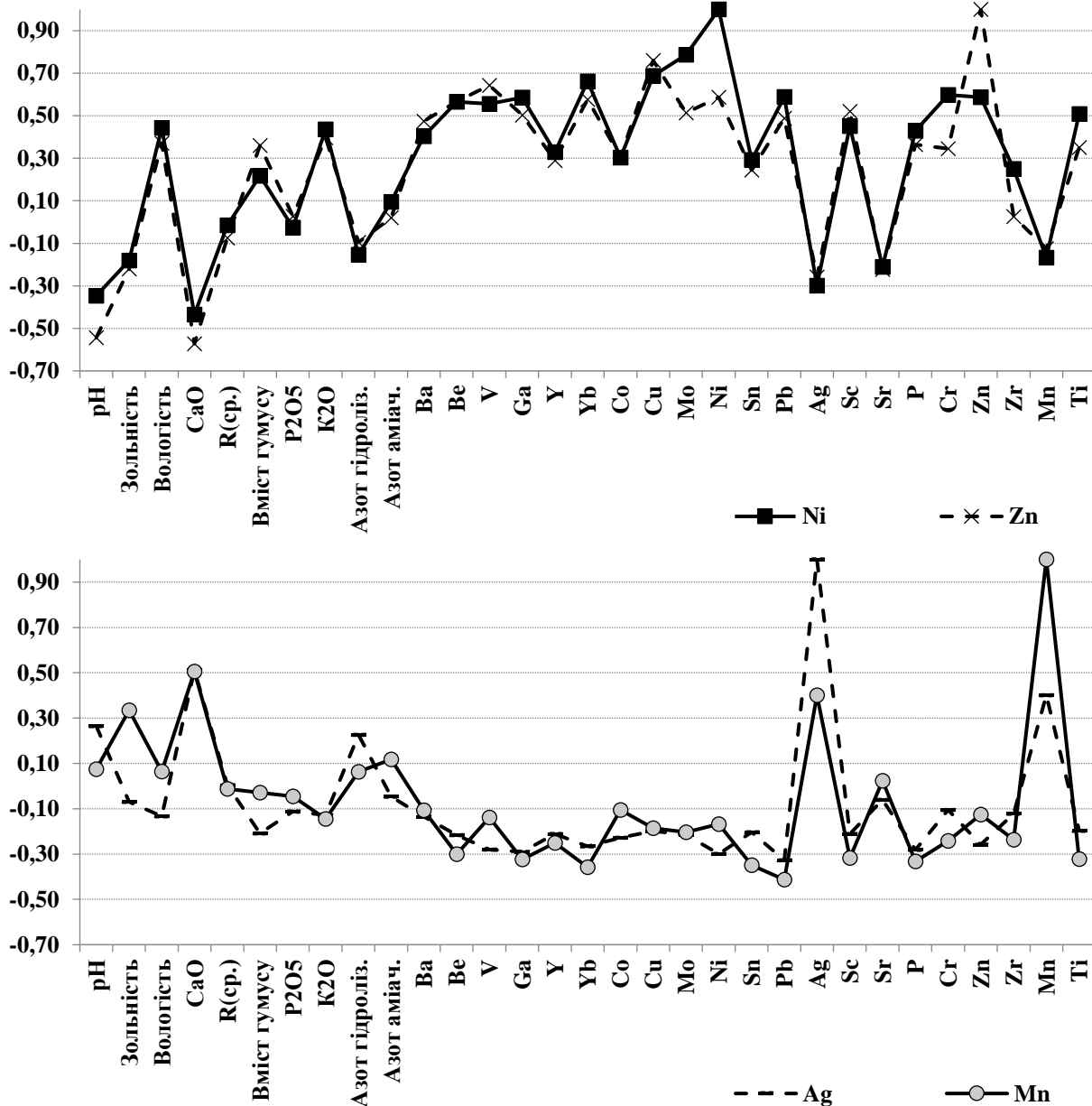


Рис. 4. Кореляційні профілі розподілу мікроелементів в торфах Львівської області
 Fig. 4. Correlation profiles of the distribution of trace elements in peats of the Lviv region

За допомогою використаного варимакс-факторного методу аналізу, при якому досягається максимізація дисперсії навантажень на фактори, була визначена типоморфна асоціація прямих ознак і вага кожної з них у встановлених варимакс-факторах.

Головний вклад факторів у спільну дисперсію (загальну мінливість системи) геохімічних даних торфів у межах Львівської області: F1-37,04%, F2 -14,27%, і F3 - 7,71. Результати факторного аналізу приведені в табл. 3.

На підставі аналізу розподілу параметрів у полях головних компонент можна зробити наступні висновки.

Перший фактор (F1), що має визначальний вплив на ознаки генеральної сукупності, відпові-

дає за геохімічну спеціалізацію торфів і впливає на накопичення в них таких мікроелементів як Yb - Sc - V - Be - Ti - Y - Ga - Pb - Cu, Ba, Cr, Ni, що пояснюється особливостями літологічного складу порід, природних ґрунтоутворювальних процесів геохімічних ландшафтів кисло-кальцієвого, кисло-глейового та кисло-кальцієвого у поєднанні з глейовим класів міграції («природний фактор»). Разом із тим, слід відмітити від'ємну роль у даному показнику *pH*.

Основні навантаження фактору F2 відмічені для наступних геохімічних ознак: більш сильні навантаження - для вологості, вмісту гумусу та Mo, і менш сильні - для P та азоту аміач., та від'ємні навантаження для зольності («органічний фактор» або «біогенний»), що вказує на важ-

Факторні навантаження для окремих геохімічних ознак торфів у межах Львівської області

Ознаки	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
pH	-0,72	-0,05	0,09
Зольність, %	0,06	-0,77	0,27
Вологість, %	-0,01	0,78	-0,11
CaO	-0,59	-0,38	-0,34
R(ср.) ступінь розкладання	0,03	-0,17	0,42
Вміст гумусу	0,03	0,75	0,11
P ₂ O ₅ , %	0,09	-0,02	0,52
K ₂ O, %	0,57	0,30	-0,44
Азот гідроліз.	0,15	-0,29	-0,74
Азот аміач. %	-0,40	0,51	0,14
Ba	0,69	-0,06	0,41
Be	0,90	0,10	-0,08
V	0,92	0,13	0,05
Ga	0,83	0,06	0,33
Y	0,84	-0,32	0,24
Yb	0,96	0,10	0,10
Co	-0,01	0,51	0,34
Cu	0,81	0,37	-0,06
Mo	0,19	0,73	-0,03
Ni	0,59	0,53	0,09
Sn	0,58	-0,10	0,37
Pb	0,82	0,25	0,20
Ag	-0,24	-0,29	-0,39
Sc	0,94	-0,04	0,01
Sr	-0,39	0,13	0,21
P	0,30	0,62	-0,07
Cr	0,66	0,34	-0,01
Zn	0,58	0,50	0,00
Zr	0,41	-0,31	0,50
Mn	-0,31	-0,18	-0,25
Ti	0,87	-0,11	0,23
<i>S±2% Expl.Var</i>	<i>10,85</i>	<i>4,79</i>	<i>2,66</i>
<i>Prp.Totl</i>	<i>0,35</i>	<i>0,15</i>	<i>0,09</i>
<i>% Total</i>	<i>37,04</i>	<i>14,27</i>	<i>7,71</i>

ливу роль *Mo* і *P* органічного. Породи досліджуваного району збагачені органічною речовиною (карбонатні породи крейди), при розкладанні якої у поверхневі, ґрунтові і підземні води поступають мінеральні компоненти (сполуки азоту та ін.).

Фактор F3, з незначною вагою 7,71 % та від'ємним навантаженням на азот гідроліз. до уваги можна не брати.

Отже, факторний аналіз дозволив представити геохімічні дані у вигляді переважаючих

асоціацій хімічних елементів та виділити два типи факторів, які є визначальними та впливають на нагромадження мікрокомпонентів у торфах Львівської області: «природний» (літологічний) - визначальний та «органогенний» - другорядний. Перший характеризує спільний розподіл просторово і парагенетично пов'язаних наступних елементів (Yb_{0,96}, Sc_{0,94}, V_{0,92}, Be_{0,90}, Ti_{0,87}, Y_{0,84}, Ga_{0,83}, Pb_{0,82}, Cu_{0,81}, Ba_{0,69}, Cr_{0,66}, Ni_{0,59}/ pH_{0,72}); другий – позитивні для вологості_{0,78}, вмісту гумусу_{0,75} та

Mo_{0,73}, і менш сильні - для P_{0,62}, азот аміач._{0,51}, та від'ємні навантаження для зольності._{0,77}.

За результатами кластерного аналізу виділені наступні парагенетичні асоціації елементів досліджуваних торфів:

- Ti-Ga-Cu-Y-Pb-Sc-V-Yb-Be-Ba (з рівнем накопичення елементів в асоціації, Rk = 0,86 та ступінню неоднорідності розподілу, V=101,97);

- Ni-Mo-Zn (Rk=2,81, V=113).

Аналіз просторового розподілу та математико-статистична обробка результатів аналізів, геохімічних ознак, параметрів, вмістів компонентів і мікрокомпонентів, а також складу та наведених варимакс-факторних ознак і інших описаних вище інтегральних і монокомпонентних параметрів торфів на досліджуваній території вказує на їхній задовільний стан і можна зробити висновок про відсутність регіонального забруднення торфів Львівської області важкими металами або про зовсім незначний регіональний вплив такого забруднення.

Висновки

1. Вміст, розподіл і накопичення більшості мікроелементів (Ba, Be, V, Y, Yb, Cu, Ni, Sn, Sc, Sr, Pb, Cr, Zn, Zr, Mn, Ti) в торфах Львівської області характеризуються неоднорідністю розподілу, високою дисперсією та варіабельністю, що обумовлено диференціацією в процесі міграції, особливостями водно-мінерального живлення торф'яних ґрунтів, впливом біогеохімічних і гідрологічних процесів, що відбуваються на досліджуваній території та різноманітністю рослин-торфоутворювачів.

2. Встановлено, що торфи Львівської області характеризуються літо-сидерофільною позитивною геохімічною спеціалізацією (за рахунок високого вмісту в них Mo, K_k=5,16 та Yb, K_k=5,15) і геохімічно сильно спеціалізовані на молібден, стронцій, ітербій та дещо менше на кобальт, берилій, барій, кобальт, свинець, срібло. Концентраційний ряд мікроелементів торфів Львівської області за медіанною оцінкою: Ti > Mn > Sr > P > Ba >

Zr > V > Ni > Cr > Cu > Pb > Y > Co > Mo > Ga > Yb > Sc > Zn > Sn > Be > Ag.

3. Результати порівняння закономірностей накопичення і розсіювання елементів в торфах з літосферою, ґрунтами та наземними рослинами показали їхній нижчекларковий вміст, а також, що для торфів характерний свій специфічний набір елементів-накопичувачів, спостерігаються специфічні закономірності накопичення і розсіювання елементів. Найбільш енергійно в торфах Львівської області накопичуються Sr, Yb, Be, Ba, Mo, Co, Pb, Ag. Підвищені концентрації та локалізація аномальних вмістів вищевідмічених елементів залежать від генезису і мінералогічного складу корінних підстилаючих порід, особливостей літологічного складу порід, природних ґрунтоутворювальних процесів геохімічних ландшафтів та спостерігаються в певних структурно-фаціальних зонах і територіально приурочені до ділянок розповсюдження корінних порід, які містять підвищені концентрації цих елементів. Можливими є також і антропогенні джерела походження деяких з них (Mo, Pb, Co).

4. Вперше за допомогою кореляційного, факторного та кластерного аналізів встановлено основні типоморфні геохімічні асоціації мікроелементів в торфах Львівської області: Yb – Sc – V – Be – Ti – Y – Ga – Pb – Cu – Ba – Cr – Ni; Co – Mo – P; Zn – Ni. Факторний аналіз дозволив виділити два типи факторів, які є визначальними та впливають на нагромадження мікрокомпонентів у торфах Львівської області: «природний» (літологічний) – визначальний та «органогенний» – другорядний.

5. За аналізом просторового розподілу і математико-статистичної обробки результатів аналізів, геохімічних ознак, параметрів, вмісту компонентів і мікрокомпонентів торфів на досліджуваній території можна зробити висновок про фактичну відсутність регіонального забруднення торфів Львівської області важкими металами із незначним регіональним впливом окремих осередків забруднення.

Список використаної літератури

1. Damman A. W. H. *Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs* / A. W. H. Damman // *Oikos*. – 1978. – P. 480–495. DOI: <https://doi.org/10.2307/3543344>
2. Shotyk W. *Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters* / W. Shotyk // *Earth Science Reviews*. – 1988. – № 25. – P. 95–176. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(88\)90067-0](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(88)90067-0)
3. Mandernack K. W. *Sulfur cycling in wetland peat of the New Jersey Pinelands and its effect on stream water chemistry* / K. W. Mandernack, L. Lynch, H. R. Krouse, M. D. Morgan // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2000. – №23 – P. 3949–3964. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00491-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00491-9)
4. Хоха Ю. В. *Вплив температурного режиму на газогенераційний потенціал гумінових кислот органічної речовини* / Ю. В. Хоха, О. В. Любчак, М. Б. Яковенко // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2018. – № 3–4 (176–177). – С. 49–63.
5. Rinquist I. *Copper and zinc adsorption onto poorly humified Sphagnum and Carex peat* / I. Rinquist, I. Ohorn // *Water Research*. – 2002. – № 36. – P. 2233–2242. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00431-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00431-6)

6. Klavins M. Peat properties, major and trace element accumulation in bog peat in Latvia / M. Klavins, I. Silamikele, O. Nikodemus, L. Kalnina et al // *Baltica*. – 2009. – Vol. 22 (1) – P. 37–49.
7. Shotyk W. Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland / W. Shotyk // *Water, Air and Soil Pollution*. – 1996. – № 90 – P. 375–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00282657>
8. Shotyk W. Peat bog archives of metal deposition: geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations and metal enrichment factors / W. Shotyk // *Environmental Reviews*. – 1996. – № 4. – P. 149–183. DOI: <https://doi.org/10.1139/a96-010>
9. Волощук М. Д. Торф і торфові ґрунти – сучасний стан і перспективи їх використання / М. Д. Волощук, М. І. Гагалюк // *Сучасні досягнення геодезії та геодинаміки: зб. наукових праць*. – Львів, 1999. – С. 160–162.
10. Трускавецький Р. С. Торфові ґрунти та торфовища України. / Р. С. Трускавецький. – Харків: Міськдрук, 2010. – 278 с.
11. Гаськевич В. Г. Торфові ґрунти і торфовища Малого Полісся: сучасний стан, проблеми раціонального використання та охорони / В. Г. Гаськевич, М. В. Нецик // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Географія*. – 2013. – Вип. 34, № 1. – С. 27–36.
12. Иванцив О. Е. Геохимические особенности торфяно-болотного литогенеза Прикарпатья Осадочные породы и руды. / О. Е. Иванцив, Г. А. Уженков – Киев: Наук. думка, 1984 – С. 215–220.
13. Нецик М. Дослідження валового хімічного складу торфових ґрунтів Малого Полісся / М. Нецик // *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. – 2013. – Випуск 44 – С. 244–249.
14. Нецик М. В. Торфові ґрунти Малого Полісся / М. В. Нецик, В. Г. Гаськевич. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015. – 198с.
15. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / за ред. В. С. Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 644 с.
16. Брадис С. М. Торфово-болотний фонд УРСР, його районування та використання / С. М. Брадис. – Київ: Наукова думка, 1973. – 264 с.
17. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. – М: Недра, 1976. – 488 с.
18. Хоха Ю. В. Геолого-геохімічні та геотехнологічні особливості торф'яних родовищ Львівської області / Ю. В. Хоха, М. Б. Яковенко, Д. В. Лукянчук // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2013. – № 3–4 (164–165) С. 56–61.
19. Яковенко М. Б. Мікрокомпонентний склад торфів Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, Д. В. Лукянчук // *Матеріали науково-практичної конференції присвяченій 100-річчю від Дня народження В.П. Макридіна «Новітні проблеми геології» м. Харків 21–23 травня 2015р.* – 2015. С. 175–176.
20. Яковенко М. Б. Розподіл хімічних елементів в низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2021. – № 3–4 (184). – С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.065>
21. Войткевич Г. В. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. Е. Мирошников, А. С. Поваренных, В. Г. Прохоров и др. – М.: Недра, 1970. – 280 с.
22. Bowen H.J.M. *Environment Chemistry of the Elements* / Bowen H.J.M. // *London-New-York-Toronto-Sydney-San Francisco: Academic Press, 1979.* – 250 p.
23. Клос В. Р. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS) / В. Р. Клос, М. Бірке, Е. Я. Жовинський, Г. О. Акінфієв та ін. // *Пошукова та екологічна геохімія*. – 2012. – № 1. – С. 51–66.
24. Яковенко М. Б. Накопичення мікроелементів у низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, Д. В. Лукянчук // *Збірник матеріалів міжнародної наукової конференції, присвяченій 70-річчю геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка «Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки», м. Львів 7–9 жовтня 2015р.* – 2015. – С. 238–239.
25. Яковенко М. Б. Розподіл молібдену в низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // *Збірник наукових статей XIX міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання)», м. Львів 8–9 жовтня 2020р.* – 2020. – С. 210–214.
26. Яковенко М. Б. Розподіл Свинцю в низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // *Збірник наукових статей XVII міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання)», м. Львів, 26–27 травня 2019р.* – 2019. – С. 263–265.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Geochemical features of the accumulation and migration of heavy metals in the peats of the Lviv region

Myroslava Yakovenko¹,

PhD (Geology), Senior Researcher, Scientific Secretary,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine;

Yurii Khokha¹,

DSc (Geology), Senior Researcher, Senior Research Officer;

Oleksandr Lyubchak¹,

PhD (Geology), Senior Researcher, Senior Research Officer

ABSTRACT

Problem formulation. Study and interpretation of geochemical characteristic, component composition, content of macro- and microelements in peat has both a general scientific fundamental character and an applied one. Its results used for various purposes: quality assessment of peat, determination of the possibility of their use in industry etc. The article is devoted to study of the elements and microelements distribution in the peat of the Lviv region.

The study of peatlands in western Ukraine and their component composition carried out only during geological exploration aimed at assessing the regions potential to produce own peat fertilizers or fuel.

Article purpose. The aim of the work is to present an extended geochemical characteristic of Lviv's region peats, to determine peats typical microelement composition and geochemical specialization, to establish regional regularities of distribution and accumulation of elements using methods of mathematical and statistical analysis, and to study the factors controlling the content, distribution and genesis of microelements in the region peatlands.

Object, subject, factual material and research methods. The object of research is peat and its ash from peatlands of the Lviv region. The subject of research is geochemical characteristic of this peat, regional patterns of distribution and accumulation of chemical elements, components and geological and geochemical indicators in peats. The ashes of 248 peat samples taken in 110 representative areas were analyzed by spectral semi-quantitative analysis for the content of 21 chemical elements and other geochemical characteristics of peat (pH, ash content, etc.).

Discussion. An integrated approach to the study of the geochemical characteristics of peat made it possible to identify the spatial geochemical features of peats in the territory of the Lviv region, to determine their typical microelements composition, to establish regional regularities of their distribution and accumulation (changes) - significant unevenness of the concentration of microelements by area of distribution, high indicators of the content of Mo, Yt, Sr, Co, Ag, Ba, Be, Pb in relation to the clarks of the lithosphere, soils, and plants.

According to the results of correlation, factor and cluster analyzes, the following typomorphic geochemical associations of peats of the Lviv region can be distinguished: Ti-Ga-Cu-Y-Pb-Sc-V-Yb-Be is associated with the features of natural soil-forming processes of geochemical landscapes; Ni-Mo-Zn is possibly of technogenic origin and is associated with the accumulation of heavy metals in soils due to the development of mineral deposits.

Conclusion. The analysis of the spatial distribution, mathematical and statistical processing of the geochemical characteristics and the composition and given varimax factor features and other integral and single-component parameters of peats described in the study indicates their satisfactory condition and can be to conclude that there is no regional pollution of peats in the Lviv region with heavy metals (except for Mo) or that the regional impact of such pollution is completely insignificant.

Keywords: peat, Lviv region, microelement composition, concentration, Clark concentration, accumulation.

References

1. Damman, A. W. H. (1978). Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs. *Oikos*, 480–495. DOI: <https://doi.org/10.2307/3543344>
2. Shoty, W. (1988). Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters. *Earth Science Reviews*, 25, 95–176. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(88\)90067-0](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(88)90067-0)
3. Mandernack, K. W., Lynch, L., Krouse, H. R., & Morgan, M. D. (2000). Sulfur cycling in wetland peat of the New Jersey Pinelands and its effect on stream water chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 23, 3949–3964. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00491-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00491-9)
4. Khokha Yu., Lyubchak O., & Yakovenko M. (2018). Effect of temperature flow on gas-generating potential of humic acids of organic matter. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3-4 (176-177), 49-63.
5. Rinquist, I., & Ohorn, I. (2002). Copper and zinc adsorption onto poorly humified sphagnum and carex peat. *Water Research*, 36, 2233–2242. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00431-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00431-6)
6. Klavins, M., Silamikele, I., Nikodemus, O., Kalnina, L., Kuske, E., Rodinov, V., & Purmalis, O. (2009). Peat properties, major and trace element accumulation in bog peat in Latvia. *Baltica*, 22 (1), 37–49.
7. Shoty, W. (1996). Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland. *Water, Air and Soil Pollution*. 90, 375–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00282657>

8. Shotykh, W. (1996). Peat bog archives of metal deposition: geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations and metal enrichment factors. *Environmental Reviews*, 4, 149–183. DOI: <https://doi.org/10.1139/a96-010>
9. Voloshchuk, M. D. (1999). Peat and peat soils - current state and prospects of their use. *Modern achievements of geodesy and geodynamics: coll. scientific works*. Lviv, 160–162.
10. Truskavetskyi, R. S. (2010). Peat soils and peatlands of Ukraine, Kharkiv: Miskdruk, 278.
11. Gaskevych, V. G. (2013). Peat soils and peatlands of Maly Polissia: current state, problems of rational use and protection. *Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Geography*, 34, 27–36.
12. Ivantsiv, O. E., & Uzhenkov, G. A. (1984). *Geochemical features of peat-bog lithogenesis in the Carpathians Sedi-mentary rocks and ores*, Kyiv: Nauk. Dumka, 215–220.
13. Netsyk, M. (2013). Study of the gross chemical composition of peat soils of Maly Polissia. *Bulletin of Lviv University. Geographical series, Issue 44*, 244–249.
14. Netsyk, M. V., & Hasiievych, V. G. (2015). *Peat soils of Maly Polissia: monograph*, Lviv: Ivan Franko Lviv National University, 198.
15. Biletskyi, V. S. (Ed.). (2004). *Small mining encyclopedia*. In 3 volumes, Donetsk: Donbas, 644.
16. Bradys, E. M. (1973). *Peat-bog fund of the Ukrainian SSR, its zoning and use*, K.: Naukova dumka, 264.
17. Tyuremnov, S.N. (1976). *Peat deposits*, M., Nedra, 488.
18. Khokha Yu., Yakovenko M., & Lukyanchuk, D. (2013). Geological, geochemical and geotechnological features of peat deposits of Lviv region. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3–4 (164–165), 56–61.
19. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lukyanchuk, D. V. (2015). Microcomponent composition of peats of the Lviv region. *Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.P. Makrydina «New problems of geology» (Kharkiv, May 21–23, 2015): V.N. Karazin Kharkiv National University*, 175–176.
20. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lyubchak O. (2021). Distribution of chemical elements in lowland peats of the Lviv region. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3–4 (184), 65–72. DOI: <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.065>
21. Voitkevich, G. V., Myroshnikov, A. E., Povarennyh, A. S., Prokhorov, V. G. & et all (1970). *Brief reference book on geochemistry*, M., Nedra, 280.
22. Bowen, H.J.M. (1979). *Environment Chemistry of the Elements*. London-New-Yorc-Toronto-Sydney-San Francisco: Academic Press, 250.
23. Klos, V. R., Birke, M., Zhovynskyy, E. Ya., Akinfiev, G. O., Amaiukeli, Yu. A., & Klamens, R. (2012). Regional geochemical studies of the soils of Ukraine within the framework of the international project on geochemical mapping of agricultural and pasture lands of Europe (GEMAS). *Prospective and Environmental Geochemistry*, 1, 51–66.
24. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lukyanchuk, D. V. (2015). Accumulation of trace elements in lowland peats of the Lviv region. *Materials of the international scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the Geology Faculty of Ivan Franko Lviv National University "Fundamental importance and applied role of geological education and science" (Lviv, October 7-9, 2015): Ivan Franko Lviv National University*, 238–239.
25. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lyubchak O. (2020). Distribution of Molybdenum in lowland peats of Lviv region. *Materials of the 19th International Scientific-Practical Conference «Resources of natural waters in Carpathian region» Problems of protection and rational exploitation (Lviv, October 8-9, 2020): Lviv Polytechnic National University*, 210–214.
26. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lyubchak O. (2019). Distribution of Lead in lowland peats of the Lviv region. *Materials of the 17th International Scientific-Practical Conference «Resources of natural waters in Carpathian region» Problems of protection and rational exploitation (Lviv, May 26-27, 2019): Lviv Polytechnic National University*, 263–265.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 7 May 2022
Accepted 29 May 2022