

<https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.058>

УДК 550.43:553.97

Мирослава ЯКОВЕНКО

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,
e-mail: myroslavakoshil@ukr.net

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НАГРОМАДЖЕННЯ І МІГРАЦІЇ СТРОНЦІУ В ТОРФАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Досліджено геохімічні особливості розподілу, нагромадження і міграції Стронцію в низинних торфах Львівської області та виявлено основні чинники, що впливають на нерівномірність його концентрації як по латералі, так і вертикалі.

Встановлено значну нерівномірність розподілу концентрації, високу дисперсію та варіабельність (коефіцієнт варіації – 116,61; ст. відхилення – 564,11) Sr у торфах у межах родовищ, районів та області загалом, як з глибиною, так і за площею поширення, та високі показники вмісту Sr відносно кларків літосфери, ґрунтів, золи рослин (КК відносно літосфери = 1,42; КК відносно кларків ґрунтів = 1,94; Кс відносно фонових значень у ґрунтах України = 4,56; КК відносно кларків наземних рослин = 1,61).

Вміст Sr у торфах Львівської області коливається в межах 40–3190 мг/кг (середній вміст – 483,75 мг/кг, вміст за медіаною або фоновий вміст – 250 мг/кг), що зумовлено природно-кліматичними, геологічними, літологічними, гідро-геохімічними та антропогенними факторами.

Встановлено, що на особливості розподілу та ступінь концентрації Sr у торфовищах Львівської області в основному впливають хіміко-мінералого-петрографічний склад корінних порід області зносу при їхньому вивітрюванні; рельєф місцевості, кліматичні, геоморфологічні, тектонічні та гідрогеологічні умови району, від яких залежить інтенсивність процесів вивітрювання порід областей зносу, ступінь перетворення теригенного матеріалу в процесах вивітрювання, швидкість нагромадження біомаси та швидкість її розкладу; особливості водно-мінерального живлення торфовища.

Високий вміст Стронцію в торфах Львівської області віддзеркалює місцеві регіональні процеси концентрування елемента в масі торфу і може вказувати на нагромадження у верхніх шарах торф'яних профілів Sr як природного, так і антропогенного походження. Спостерігається збагачення Sr верхніх інтервалів покладів (0–1 м) родовищ північно-східної частини Львівської області (Малополіська торф'яна область).

Ключові слова: торф, торф'яний поклад, Стронцій, мікроелементний склад, концентрація, кларк концентрації, нагромадження, міграція.

Постановка проблеми. Геохімічним дослідженням та вивченню мікро-елементів, рідкісних елементів, елементів-домішок, важких металів у різних

об'єктах та складових геологічного, навколишнього природного середовища (корисні копалини, води, ґрунти тощо) приділяють значну увагу з огляду на потребу отримання технічної, промислової та наукової характеристики об'єкта дослідження. Насамперед оцінюють їхні якісні показники, які безпосередньо впливають на геолого-технологічні властивості сировини та враховуються при складанні проєктів з вилучення, перероблення, експлуатації об'єкта досліджень та під час оцінки перспектив освоєння. Наукова складова такого дослідження – це вирішення комплексу питань, таких як питання генези, складу, спеціалізації тощо; практична – оцінка впливу на стан навколишнього природного середовища, техногенне навантаження, забруднення та екологічна ситуація. Торф володіє високою сорбційною ємністю відносно металів, серед яких і Стронцій.

Стронцій (Strontium, Sr) – мікроелемент, що належить до II групи періодичної системи, типовий лужноземельний стабільно двовалентний метал, досить поширений (15-те місце за поширеністю, слідує за Барієм, трохи поступаючись Фтору), літофільний, катіоногенний елемент із постійною валентністю, рухомий у будь-яких геохімічних умовах, вуглефільний. За своїми геохімічними та біохімічними властивостями катіони Sr^{2+} дуже схожі на Ca^{2+} , а Sr^{2+} , зокрема, дуже близький за розмірами до Ca^{2+} .

Поширення Стронцію в земній корі, основних складових навколишнього природного середовища та живих організмах. Як зазначено вище, Стронцій доволі поширений мікроелемент у земній корі. Кларк Sr у земній корі, за О. П. Виноградовим, – 340 мг/кг (або 0,034 масових %) (Войткевич и др., 1970). У вільному вигляді в земній корі Стронцій не зафіксований, він існує переважно у вигляді катіона Sr^{2+} . Відомо близько 30 мінералів Sr (Чертко Н. К. & Чертко, 2008), і лише два з них поширені в природі (у деяких системах біосфери та в гідротермальних умовах): значно поширений целестин ($SrSO_4$) та більш рідкісний стронціаніт ($SrCO_3$).

Переважно Стронцій концентрується в магматичних породах середнього складу та в карбонатних осадах. У магматичних породах Sr присутній зазвичай у розсіяному вигляді як ізоморфна домішка в кристалічній решітці кальцевих, кальцієвих та барієвих мінералів. Стронцій входить до складу ряду акцесорних мінералів, у розсіяному стані трапляється завдяки ізоморфізму з Кальцієм, аналогом якого він є за фізико-хімічними властивостями. Це визначає схожість їхньої міграції в літосфері: Sr – постійний супутник Ca у багатьох системах. Хоча спостерігаються і деякі відмінності: у мантиї, основних породах і в живій речовині інтенсивніше нагромаджується Ca, натомість у гідросфері та осадових породах – Sr. В ультраосновних породах Стронцію особливо мало – 0,001 %. Кларк Sr в осадових породах: глинистих сланцях – 330 мг/кг, пісковиках – 20 мг/кг, карбонатах – 540 мг/кг (Склярів и др., 2001). У природі трапляються багаті стронцієм карбонати, фосфати, силікати, сульфати, у яких він нагромаджується під впливом біогенних процесів.

При вивітрюванні Стронцій легко мобілізується, особливо в кислому окислювальному середовищі. Він може фіксуватися глинистими мінералами і сильно зв'язуватися з органічною речовиною, проте його більша частина осаджується у вигляді біогенних карбонатів (Кабата-Пендіас & Пендіас, 1989). З органічними сполуками Sr утворює комплекси. Геохімічні бар'єри –

сульфатний, карбонатний, лужний, випарний сорбційний, термодинамічний. У природі існують стронцієво-кальцієві біогеохімічні провінції, для яких характерний загальний підвищений вміст Стронцію та понижений вміст Кальцію в ландшафтах, зокрема й у воді (низка районів Центральної та Східної Азії, Північної Європи, Північний Китай, Корея та ін.). У водних розчинах зони гіпергенезу Sr мігрує зазвичай у формі катіонів.

Стронцій – незмінний компонент гідросфери Землі. Його кларк у річковій воді становить 0,05 мг/л, середній вміст у морській воді – 0,1 мг/л. У морській воді Sr (як і Ca) перебуває частково у вигляді карбонату стронцію (SrCO_3), частково у вигляді сульфату (SrSO_4) і при випаровуванні морської води може випадати у вигляді целестину та концентруватися в ангідритах і арагонітах. Відомо, що зі збільшенням загальної мінералізації вод вміст Стронцію в них підвищується.

Вміст Стронцію в ґрунтах залежить насамперед від складу материнських порід та кліматичних умов. Кларк Sr у ґрунтах світу: за О. П. Виноградовим (Войткевич и др., 1970), – 180 мг/кг, за Н. J. M. Bowen (1979) – 250 мг/кг; у ґрунтах Європи – 97 мг/кг (Клос та ін., 2012). Підвищений вміст Стронцію характерний для чорноземів, лісових, заплавних та алювіальних ґрунтів (Кабата-Пендіас & Пендіас, 1989). У ґрунтах України вміст Стронцію коливається від 30 мг/кг у чорноземно-лучному ґрунті Криму до 150–250 мг/кг у темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу (Кирильчук & Бонішко, 2011).

У рослинах Стронцій нагромаджується в кількостях, що перевищують його вміст у ґрунті. Кларк Sr у золі наземних рослин, за Д. П. Малюгою (Войткевич и др., 1970), – 300 мг/кг. Коефіцієнт біологічного поглинання Sr рослинами варіює від 2 до 16. Відносно більшу кількість Sr накопичують бобові рослини, корене- та бульбоплоди, меншу кількість – льон, злаки та зернові культури.

Стронцій – складова частина мікроорганізмів, рослин та тварин. У найпростіших морських організмів радіоларій скелет складається зі SrSO_4 (целестину). Морські водорості містять 26–140 мг Стронцію на 100 г сухої речовини, наземні рослини – 2,6; морські тварини – 2–50; наземні тварини – 1,4; бактерії – 0,27–30 мг.

В організмі дорослої людини є близько 0,32 г Стронцію – майже весь він у скелеті, і лише 3,3 мг Sr припадає на інші органи. Нагромадження Стронцію різними організмами залежить не тільки від їхнього виду та особливостей обміну речовин, але й від співвідношення в середовищі Стронцію та інших елементів, насамперед Кальцію та Фосфору, а також від адаптації організмів до певного геохімічного середовища. Стронцій за високих концентрацій є токсичним.

Аналіз актуальних досліджень і публікацій. Існує багато наукових публікацій з геохімії Стронцію в різних об'єктах та складових геологічного та навколишнього природного середовища: мінералах, гірських породах, вугільних пластах, морській воді, поверхневих та підземних водах, ґрунтах, зонах техногенезу тощо (Бойко, 1995; Бурков & Подпорина, 1962; Кабата-Пендіас & Пендіас, 1989; Лазар, 2017; Пампура и др., 1991; Спринський, 1999; Фор & Джонс, 1974; Angino et al., 1966; Noll, 1931; Odum, 1951; Turekian & Kulp, 1956 та ін.).

Щодо геохімії Sr у торфах та торфових покладах, то зазвичай це публікації про геохімічні дослідження, джерела, нагромадження та розподіл мікроелементів у торфах країн Європейського Союзу (Естонія, Латвія, Бельгія, Норвегія та ін.), серед яких згадується і про Стронцій (Ortu H. & Ortu, 2006).

Щодо геохімічних досліджень мікроелементів, зокрема і Стронцію в торфових покладах і родовищах території західного регіону України та Львівської області, у науковій літературі трапляються поодинокі публікації. Зокрема, О. Є. Іванців та Г. А. Уженков (Иванцев & Уженков, 1984) вивчали за результатами спектральних аналізів підвищений вміст Sr, Ba, Cu, Zn, Mn окремих торф'яних родовищ Прикарпаття (Івано-Франківська та Львівська області) для встановлення перспектив їхнього використання в народному господарстві.

Дослідженнями мікроелементного складу торфовищ західного регіону України займалися переважно в 60–70 роках минулого сторіччя під час проведення експедиційних геологорозвідувальних робіт, спрямованих на оцінку потенціалу регіонів щодо вироблення власних торф'яних добрив або палива.

Мета дослідження – встановити просторові та вертикальні закономірності та геохімічні особливості розподілу, накопичення і міграції Стронцію в низинних торфах Львівської області та виявити основні чинники впливу на формування його концентрацій.

Вміст Стронцію визначали з допомогою спектрального напівкількісного аналізу (виконаного різними лабораторіями – агрохімлабораторія Львівської міжобласної інспекції «Укрінсторфбуріння», лабораторія ґрунтів відділу географії і меліорації Львівського державного університету ім. І. Франка, Львівської геологічної експедиції (В. Г. Галенко та ін.)) у золі торфу (248 проб), відібраного на глибинах 0,1–7 м на 110 представницьких для Львівської області ділянках, які виокремлені як самостійні низинні торфові родовища. Для багатопластових родовищ торфу обчислено середньозважені значення вмісту Sr.

Щоб виявити вертикальні закономірності розподілу проби, відібрано з горизонтів декількох представницьких торфовищ через приблизно рівні проміжки (1 м). Обробку та інтерпретацію результатів досліджень проводили з використанням програм Excel, STATISTICA, Surfer.

Виклад основного матеріалу. Стронцій у торфах Львівської області характеризується неоднорідним розподілом (коефіцієнт варіації – 116,61; ст. відхилення – 564,11), високою дисперсією, дуже інтенсивним нагромадженням, значним поширенням (коефіцієнт зустрічальності елемента – кількість проб, у яких він виявлений, від загальної кількості проаналізованих проб, $Z = 100\%$; кількість проб з вище кларковим вмістом від загальної кількості проб, $ZK = 50\%$); середній вміст 483,75 мг/кг (min – 40, max – 3190 мг/кг), вміст за медіаною – 250 мг/кг. Така висока варіабельність Sr у досліджуваних торфах може свідчити про різкі відмінності в умовах його надходження в торф'яний поклад, нагромадження його рослинами і закріплення на торф'яному біогеохімічному бар'єрі.

Основні статистичні характеристики розподілу Стронцію в досліджуваних торфах у вигляді гістограм та діаграм наведено на рис. 1.

Порівняння середнього вмісту Sr у торфах Львівської області України з наявними літературними даними по торфах Естонії (Ortu H. & Ortu, 2006)

Sr

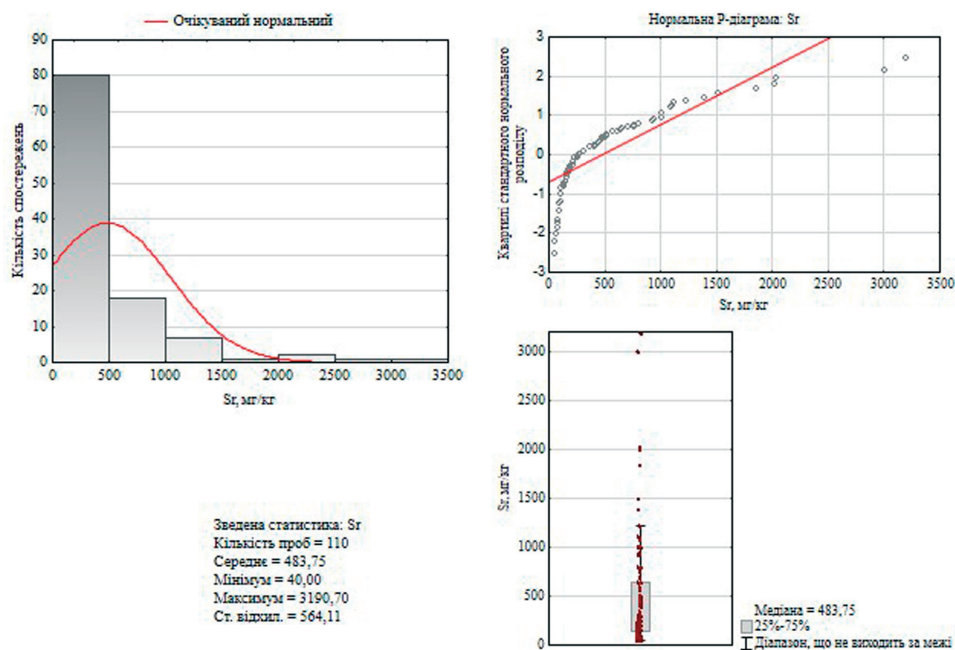


Рис. 1. Гістограми, квантилі нормального розподілу по осі ординат, статистичні параметри та діаграма розмаху розподілу Стронцію в золі досліджуваних торфів Львівської області (вибірка 110)

показало дуже високу збагаченість торфовищ Львівщини Стронцієм, вміст якого в останніх на порядок вищий (середній вміст – 483,75 мг/кг, вміст за медіаною – 250 мг/кг і відповідно торфи Естонії – 21,9 та 18 мг/кг).

На особливості розподілу та ступінь концентрування Sr, як і інших хімічних елементів, у торфовищах впливають різні чинники, основними серед яких є властивості та хіміко-мінералого-петрографічний склад корінних порід області зносу при їхньому вивітрюванні та території оточення торфовища; рельєф місцевості, кліматичні, геоморфологічні, тектонічні та гідрогеологічні умови району, від яких залежить інтенсивність вивітрювання порід областей зносу, ступінь перетворення теригенного матеріалу під час вивітрювання, швидкість нагромадження біомаси та швидкість її розкладу; особливості водно-мінерального живлення торфовища. Мігрують мікроелементи повітряними та водними шляхами з переважанням останнього завдяки поверхневим і підземним водам, що відбувається біогенними, механічними, хімічним та колоїдними способами (Бучинська та ін., 2013).

У торфах Львівської області відмічено аномальний вміст Стронцію, який досягає в деяких пробах декількох десятків відсотків (0,1–0,3 %) за фонового вмісту за медіанним значенням 0,025 %.

Аномальний вміст Стронцію в золі торфів Львівської області виявлено (рис. 2) (територіально-адміністративне районування подано за кодифікатором до змін 2020 р.):

1) на площах поширення мергельної товщі, алевролітів, пісковиків, вапняків пізньокрейдової (K_2) епохи, у яких виявлені прояви целестину:

– центральна частина Львівської області, територія Жовківського та Кам'янка-Бузького районів, родовища: 88 – Ситихів, 85 – Баси, 86 – Дідилів, 82 – Дорошів, 83 – Гребенці;

– північно-західна частина Львівської області, територія Сокальського району, родовища: 41 – Пасека; 42 – Подільське I; 43 – Подільське II; 44 – Савчин; 48 – Спасів; 50 – Діброва; 51 – Карів; 52 – Зубків; 96 – Поториця;

– північно-східна частина Львівської області, територія Буського району, родовище 66 – Ожидів;

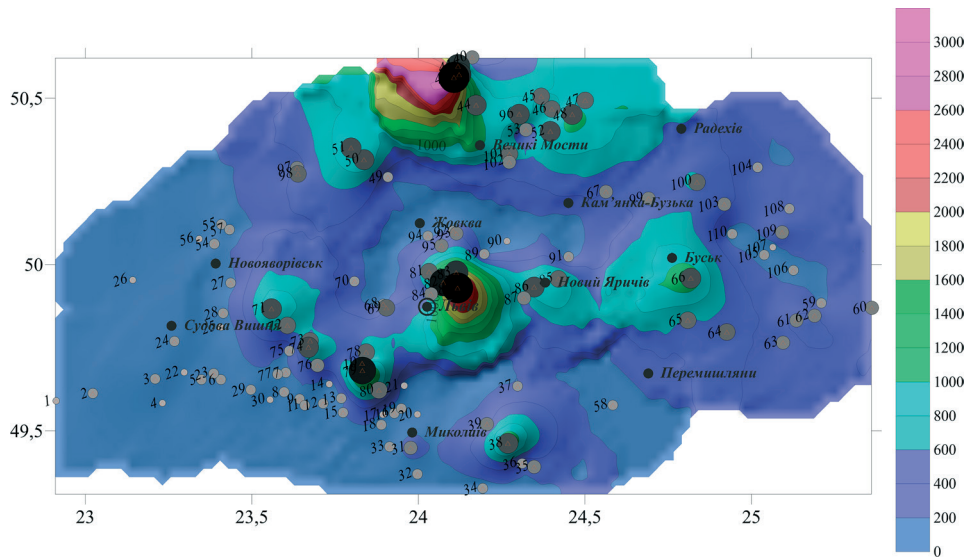


Рис. 2. Карта-схема просторового розподілу вмісту Стронцію в торфах Львівської області:

Вміст Стронцію, мг/кг:

● 40–100	● 300–500	● 1000–1500	● 2000–2500
● 100–300	● 500–1000	● 1500–2000	● 2500–3200

Родовища торфу: 1 – Болозів; 2 – Біличі; 3 – Ятвяги; 4 – Лановичі; 5 – Роздільне; 6 – Шептичі; 7 – Хишевицьке; 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 – Костильниківське; 23 – Канафости; 24 – Стоянци; 25 – Бортятіно–Новоселковське; 26 – Краковець; 27 – Вільшаниця; 28 – Вижомля; 29 – Колбаєвичі; 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 – Сухополя; 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 – Коропуж; 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 – Блищиводи; 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

2) на площах поширення відкладів міоценової епохи, зокрема сірконосних відкладів (глини, гіпсоангідриди, вапняки хемогенні, вапняки метасоматичні) тираської світи середнього міоцену (баденію) (N_1ts) з рудопроявами целестину, у складі якої присутній карбонатний комплекс, представлений целестино-карбонатними породами:

– південно-східна частина Львівської області, Жидачівський район, родовище 38 – Чорний Острів;

– центральна частина Львівської області, територія Городоцького і Пустомитівського районів, родовища: 71 – Лесновичі II; 74 – Черляни; 79 – Острів (Острів-Сердиця).

У досліджуваних торфах Львівської області коефіцієнт концентрації (КК) Стронцію відносно літосфери, за О. П. Виноградовим (Войткевич и др., 1970), $KK = 1,42$; відносно кларків ґрунтів, за Н. Bowen (1979), $KK = 1,94$; відносно фонових значень у ґрунтах України (Клос та ін., 2012) $Kc = 4,56$; відносно кларків наземних рослин, за Д. П. Малюгою (Войткевич и др., 1970), $KK = 1,61$.

Досліджувані торфи Львівської області належать до низинного типу з підвищеним вмістом зольної частини – зольність (A) у середньому становить 41 %, генетично зумовлена вторинними процесами внесення неорганічної осадової речовини, мінеральних частинок у торф'яну масу (поверхневими водами, атмосферними опадами та внаслідок інфільтрації ґрунтових вод) та залежить від хімічного складу вод, які підживлюють торфове родовище, сильної забезпеченості елементів водно-мінеральним живленням рослин і швидкого біологічного кругообігу. Тому і вміст Стронцію перевищує його кларковий вміст у золі наземних рослин. Кореляційного зв'язку між зольністю та ступенем розкладання R (геоботанічним складом торфів) не виявлено. Ступінь розкладання органічної речовини коливається близько 28 %.

За геоботанічним складом переважають *осоково-гіпнові* (трав'яно-мохові: західні, північні та центральні райони Львівської області – Жовківський, Яворівський, Мостиський, Городоцький, Сокальський, Радехівський, Пустомитівський, Перемишлянський, Самбірський, Дрогобицький, Миколаївський, Жидачівський), *очеретяні* (східні, західні та центральні райони Львівської області – Золочівський, Перемишлянський, Радехівський, Сокальський, Жовківський, Яворівський, Городоцький, Пустомитівський, Самбірський), *осокові* (трав'яні: західні та північні райони Львівської області – Жовківський, Яворівський, Сокальський, Радехівський, Бродівський, Буський, Золочівський), *очеретяно-осокові* (північні, центральні райони Львівської області – Сокальський, Бродівський, Радехівський, Перемишлянський, Самбірський, Яворівський, Дрогобицький), меншою мірою – *гіпнові* і *лісові* (західні та північно-центральні райони Львівської області – Яворівський, Мостиський, Буський), *деревно-осокові* (Яворівський, Радехівський) види низинних торфів.

Для розуміння взаємозв'язків Стронцію з іншими мікроелементами та параметрами торфів розраховані коефіцієнти кореляції Пірсона. При тому, що більшість мікроелементів показують позитивну кореляцію один з одним (Яковенко та ін., 2022), кількість Стронцію в торфі не пов'язана кореляційною залежністю з жодним із мікроелементів, і навіть більше, значення коефіцієнтів кореляції з більшістю елементів є негативними, а особливо з Yb, Sc, Y, V, Pb, Ga, Cr, Be, Ti, Co, Zn, Cu, Ni, Sn, Mo, Zr, Ag, що може свідчити про інший

спосіб залягання як у торфі, так і в торф'яній золі. Спостерігається лише незначна від'ємна кореляція між Стронцієм та Азотом гідролізованим ($r = -0,49$).

Стронцій у торфах Львівської області є переважно природного походження (за рахунок сорбції органічною речовиною торфу). Його високі концентрації визначаються геолого-геохімічними умовами залягання торф'яних покладів та зумовлені такими чинниками:

- генезою, мінералогічним складом та поширенням корінних осадових підстилаючих ґрунтотворних порід з проявами целестину та високим вмістом Стронцію (верхньокрейдові відклади, K_2 – мергелі, алевроліти, пісковики, вапняки, гіпси, ангідрити (Яковенко та ін., 2021, 2022); середньоміоценові (баденські тираської світи, N_1ts) відклади, у т. ч. сірконосні – глини, гіпсо-ангідрити, вапняки хемогенні, вапняки метасоматичні);

- збагаченням Sr сірчаних руд Передкарпаття, які у 80-х роках минулого сторіччя вважалися потенційною сировиною для добування його сполук (Подорожненське сірчане родовище) (Кушнір и др., 1982);

- наносами мінеральних включень, руйнуванням в областях живлення басейнів седиментації порід та руд з високими концентраціями елемента, диференціацією в процесі міграції;

- впливом біогеохімічних і гідрологічних процесів, що відбуваються на досліджуваній території, особливостями водно-мінерального живлення торф'яних ґрунтів, наявністю підземних вод, водоносних горизонтів, збагачених Sr (верхньокрейдовий і нижньобаденський);

- високою зольністю торфу;

- різноманітністю та ботанічним складом рослин-торфоутворювачів;

- можливим надходженням з атмосфери.

Вертикальний розподіл. Характер вертикального розподілу Sr, як і інших елементів, у торф'яній товщі залежить від багатьох чинників – окисно-відновних умов, кислотності, ботанічного складу торфу, інтенсивності атмосферних випадіннь металів тощо.

З метою дослідження вертикального розподілу Стронцію по профілю торф'яного покладу вибрані представницькі родовища торфу з його підвищеними концентраціями. У вертикальному розподілі Стронцію по профілях торф'яних покладів родовищ Львівської області чітких закономірностей виявити не вдалося. Якщо в одних випадках його концентрації поступово збільшуються вниз по профілю, то в інших навпаки – максимальний вміст у поверхневому горизонті або розподіл носить випадковий характер. Загалом спостерігаються такі закономірності.

У розподілі Стронцію за глибиною чітко виокремлюються максимуми в нижніх горизонтах торф'яного покладу, де його нагромадження відбувається в основному в результаті більш багатого водо-мінерального живлення на ранніх стадіях розвитку, а також пов'язано зі складом підстилаючих порід та ґрунтів і рельєфом ложа торф'яного родовища. Максимальні концентрації Sr за глибиною торф'яних покладів (3–4, 4–5, 5–6 м) відмічені в родовищах північної частини Львівщини (46 – Тартаків, 48 – Спасів, рис. 3, а) і за глибиною покладів (2–3, 3–4 м) у торфовищах, які територіально розташовані в центральній частині Львівської області та належать за районуванням до Передкарпатського району Карпатської торф'яної області (8 – Конюшки,

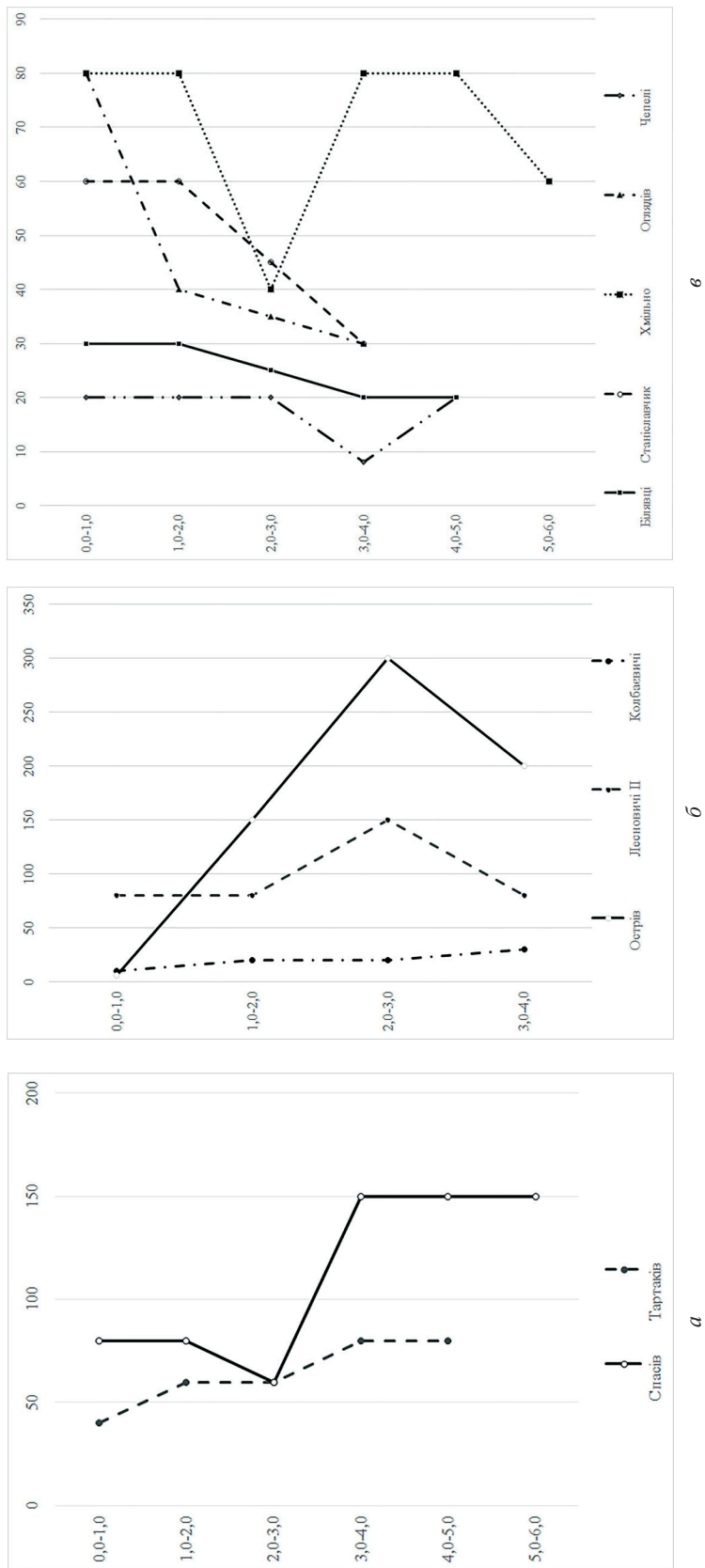


Рис. 3. Вертикальний розподіл Стронцію по профілю покладу родовищ торфу Львівської області. Вісь абсцис – вміст Стронцію, мг/кг; ординат – глибина профілю торф'яного покладу, м; а – торфовища північної частини Львівської області (46 – Тартаків; 48 – Стасів); б – родовища центральної частини (29 – Колбасівці; 71 – Лесновичі II; 79 – Острів (Острів-Сердиця); в – родовища північно-східної частини Львівської області (59 – Чепелі; 99 – Оляжів; 100 – Хмільно; 103 – Станіславчик; 108 – Білявці)

19 – Демня, 29 – Колбаєвичі, 71 – Лесновичі II, 79 – Острів (Острів-Сердиця), рис. 3, б). В останніх підвищений вміст Sr у покладах торфів може мати також і антропогенне походження, пов'язане з функціонуванням сірководобувних підприємств гірничої та гірничо-хімічної промисловості на цій території (Яворівське та Роздільське ДП «Сірка»), зокрема з наслідками застосування вапняково-сірчаних добрив, які є грубозернистою фракцією відходів флотації сірчаних руд і містять до 75 % CaCO_3 і до 1 % SrSO_4 та активно застосовувалися на цій території наприкінці минулого століття для вапнування ґрунтів. Целестин, який вносили в ґрунт разом з цими добривами, розчиняючись забруднював Sr ґрунтові розчини, і, мігруючи з ґрунтовими водами, Стронцій потрапляв у поверхневі води (річки, джерела, колодязі) та глибокі водоносні горизонти (Бойко, 1995; Кушнір та ін., 1995).

На деяких родовищах торфу спостерігаються високі концентрації Sr у верхніх торфогенних горизонтах (0–1 м) та шарах торфу, які контактують з підстилаючими мінеральними ґрунтами. Sr нагромаджується у верхньому торфогенному шарі в основному внаслідок біологічної акумуляції та еолового привнесення. Це родовища північно-східної частини Львівської області, які територіально належать до Малополіської торф'яної області (59 – Чепелі, 99 – Оглядів, 100 – Хмільно, 103 – Станіславчик, 108 – Білявці (рис. 3, в), а також 81 – Костейв; 85 – Баси; 86 – Дідилів). Більш високі концентрації Sr у верхніх шарах можуть також свідчити про зв'язок з атмосферним забруднення через діяльність людини (насамперед використання добрив).

Високі концентрації Стронцію в торфах Львівської області відображають місцеві регіональні процеси концентрації елемента в масі торфу і можуть вказувати на нагромадження у верхніх шарах торф'яних профілів Sr як природного, так і антропогенного походження.

Висновки. Проведені дослідження з геохімії Sr у торф'яних покладах і родовищах Львівської області показали його нерівномірний розподіл у межах родовищ, районів та області не тільки по латералі, але й у вертикальних профілях торф'яних покладів, що зумовлено, як зазначено вище, природно-кліматичними, геологічними, літологічними, гідро-геохімічними та антропогенними чинниками.

Стронцій у торфах Львівської області характеризується високою дисперсією, варіабельністю (коефіцієнт варіації – 116,61; ст. відхилення – 564,11), що може свідчити про різкі відмінності в умовах його надходження в торф'яний поклад, нагромадження його рослинами і закріплення на торф'яному біогеохімічному бар'єрі. Стронцій є значно поширеним елементом з дуже інтенсивним накопиченням у торфах Львівської області – він має високий процент зустрічальності, коефіцієнт зустрічальності елемента, кларкові концентрації > 1 ($Z > 75$ %, тобто виявлений у 99 % проб/в усіх пробах; $\text{KK}_{\text{ср}} > 1$).

Вміст Sr у торфах Львівської області коливається в межах 40–3190 мг/кг, середній вміст – 483,75 мг/кг, вміст за медіаною (фоновий вміст) – 250 мг/кг. Стронцій у досліджуваних торфах має вищекларкові концентрації порівняно з літосферою, земною корою, ґрунтами, наземними рослинами. Коефіцієнт концентрації Sr відносно літосфери = 1,42; відносно кларків ґрунтів $\text{KK} = 1,94$; відносно фонових значень у ґрунтах України $\text{Kc} = 4,56$; відносно кларків наземних рослин $\text{KK} = 1,61$.

Кількість Стронцію в торфі не пов'язана кореляційною залежністю з жодним із мікроелементів, значення коефіцієнтів кореляції з більшістю з них (Yb, Sc, Y, V, Pb, Ga, Cr, Be, Ti, Co, Zn, Cu, Ni, Sn, Mo, Zr, Ag) є від'ємними, що може свідчити про інший спосіб його залягання як у торфі, так і в торф'яній золі.

На особливості розподілу та ступінь концентрації Sr у торфовищах Львівської області в основному впливають хіміко-мінералого-петрографічний склад корінних порід області зносу при їхньому вивітрюванні; рельєф місцевості, кліматичні, геоморфологічні, тектонічні та гідрогеологічні умови району, від яких залежить інтенсивність процесів вивітрювання порід областей зносу, ступінь перетворення теригенного матеріалу в процесах вивітрювання, швидкість нагромадження біомаси та швидкість її розкладу; особливості водно-мінерального живлення торфовища.

Високі концентрації Стронцію в торфах Львівської області відображають місцеві регіональні процеси концентрації елемента в масі торфу і можуть вказувати на накопичення у верхніх шарах торф'яних профілів Sr як природного, так і антропогенного походження. Спостерігається збагачення Sr верхніх інтервалів покладів (0–1 м) родовищ північно-східної частини Львівської області (Малополіська торф'яна область).

- Бойко, Т. І. (1995). *Геохімія сірки та стронцію в зоні техногенезу сірководувних підприємств Передкарпаття* [Автореф. дис. канд. геол. наук]. Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України. Львів.
- Бурков, В. В., & Подпорина, Е. К. (1962). Стронций. *Труды Института минералогии, геохимии и кристаллографии редких металлов*, 12, 180.
- Бучинська, І., Лазар, Г., Савчинський, Л., & Шевчук, О. (2013). Умови утворення вугілля пласта n_6 Львівсько-Волинського басейну за геохімічними даними. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2, 32–41.
- Войткевич, Г. В., Мирошников, А. Е., Поваренных, А. С., & Прохоров, В. Г. (1970). *Краткий справочник по геохимии*. Москва: Недра.
- Иванцов, О. Е., & Уженков, Г. А. (1984). Геохимические особенности торфяно-болотного литогенеза Прикарпатья. В *Осадочные породы и руды* (с. 215–220). Киев: Наукова думка.
- Кабата-Пендиас, А., & Пендиас, Х. (1989). *Микроэлементы в почвах и растениях*. Москва: Мир.
- Кирильчук, А. А., & Бонішко, О. С. (2011). *Хімія ґрунтів. Основи теорії і практик*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.
- Клос, В. Р., Бірке, М., Жовинський, Е. Я., Акінфієв, Г. О., Амаїукелі, Ю. А., & Кламенс, Р. (2012). Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS). *Пошукова та екологічна геохімія*, 1, 51–66.
- Кушнір, С. В., Шутер, Я. Н., Паньків, Р. П., & Сребродольский, Б. И. (1982). Основные формы нахождения стронция в серных рудах Предкарпатья. В *Геология и геохимия неметаллических ископаемых* (с. 102–108). Киев: Наукова думка.
- Кушнір, С. В., Вівчар, О. І., & Бойко, Т. І. (1995). Деякі геохімічні наслідки застоювання «вапняково-сірчаного добрива». *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4(88–89), 27–35.
- Лазар, Г. (2017). Особливості поширення стронцію у вугіллі пласта v_6 Львівсько-Волинського басейну. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2(170–171), 86.
- Пампура, В. Д., Сандиминова, Г. П., & Брандт, С. Б. (1991). *Геохимия и изотопный состав стронция в гидротермальных системах*. Наука, Сибирское отделение.

- Склярів, Е. В., Бараш, И. Г., Буланов, В. А., Гладкочуб, Д. П., Донская, Т. В., Иванов, А. В., Летникова, Е. Ф., Миронов, А. Г., & Сизых, А. И. (2001). *Интерпретация геохимических данных*. Москва: Интерметинжиниринг.
- Спринський, М. І. (1999). Літій, рубідій, цезій і стронцій у підземних водах Карпатської нафтогазоносної провінції [Автореф. дис. канд. геол. наук]. Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України. Львів.
- Фор, Г., & Джонс, Л. (1974). Изотопный состав стронция в россыпях Красного моря. В *Современное гидротермальное рудоотложение* (с. 141–148). Москва: Мир.
- Чертко, Н. К., & Чертко, Э. Н. (2008). *Геохимия и экология химических элементов*. Минск: Издательский центр БГУ.
- Яковенко, М., Хоха, Ю., & Любчак, О. (2022). Геохімічні особливості накопичення і міграції важких металів у торфах Львівської області. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 56, 105–121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-07>
- Яковенко, М., Хоха, Ю., & Любчак, О. (2021). Розподіл хімічних елементів у низинних торфах Львівської області. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4(185–186), 65–72. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.065>
- Angino, E., Billings, G. K., & Andersen, N. (1966). Observed variations in the strontium concentration of seawater. *Chemical Geology*, 1, 145–153. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(66\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(66)90013-1)
- Bowen, H. J. M. (1979). *Environment Chemistry of the Elements*. London; New-York; Toronto; Sydney; San-Francisco: Academic Press.
- Noll, W. (1931). Über die Bestimmung des Strontiums in der Mineral- und Gesteinsanalyse. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 199(1), 193–208. <https://doi.org/10.1002/zaac.19311990121>
- Odum, H. T. (1951). Notes on the Strontium Content of Sea Water, Celestite Radiolaria, and Strontianite Snail Shells. *Science*, 114(2956), 211–213. <https://doi.org/10.1126/science.114.2956.211>
- Orru, H., & Orru, M. (2006). Sources and distribution of trace elements in Estonian peat. *Global and Planetary Change*, 53(4), 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.03.007>
- Turekian, K. K., & Kulp, J. L. (1956). The geochemistry of strontium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 10(5–6), 245–296. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(56\)90015-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(56)90015-1)

Стаття надійшла:
28.04.2022 р.

Myroslava YAKOVENKO

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine,
e-mail: myroslavakoshil@ukr.net

**GEOCHEMICAL FEATURES
OF STRONTIUM ACCUMULATION AND MIGRATION
IN THE PEATS OF THE LVIV REGION**

The article is devoted to the study of geochemical characteristics of the distribution, accumulation and migration of strontium in the lowland peats of the Lviv Region, both laterally and vertically, and to identify the main factors influencing the formation of its concentrations.

A significant uneven distribution of concentration, high dispersion and variability (coefficient of variation – 116.61, standard deviation – 564.11) of Sr in peats within deposits, districts and regions both with depth and area of distribution and high content indicators were established Sr relative to clarks of the lithosphere, soils, plant ash (CC relative to the lithosphere = 1.42; CC relative to soil clarks = 1.94; Cs relative to background values in the soils of Ukraine = 4.56; CK relative to clarks of terrestrial plants = 1.61).

The content of Sr in the peat of the Lviv Region ranges from 40–3190 mg/kg (average content 483.75 mg/kg, median content (background content) – 250 mg/kg), which is due to natural-climatic, geological, lithological, hydrogeochemical and anthropogenic factors.

The features of the distribution and the degree of concentration of Sr in the peatlands of the Lviv Region are mainly influenced by the chemical-mineralogical-petrographic composition of the bedrocks of the wear area during their weathering; terrain, climatic, geomorphological, tectonic and hydrogeological conditions of the area, which determine the of the weathering processes of the rocks in the wear areas, the degree of transformation of terrigenous material in the weathering processes, the rate of accumulation of biomass and the rate of its decomposition; features of water and mineral nutrition of the peatland.

High concentrations of strontium in the peat of the Lviv Region reflect the local regional processes of the concentration of the element in the mass of peat and may indicate the accumulation of Sr of both natural and anthropogenic origin in the upper layers of peat profiles. There is an enrichment of Sr in the upper intervals of deposits (0–1 m) of deposits in the northeastern part of the Lviv region (Malopoliska peat region) is observed.

Keywords: peat, peat deposit, strontium, microelement composition, concentration, Clark concentration, accumulation, migration.