

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ СЕЛЕНУ У РОСЛИННОСТІ РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗОН

**Е.С. Попенко**

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна*

*E-mail: popenko-ed@i.ua*

Проаналізовано вміст селену у рослинах різних типів, які зростають у країнах з різними кліматичними умовами – Україна, Франція, Данія та Норвегія. Розраховано коефіцієнт біологічного накопичення рослин (листя дерев та верхня частина трав), за яким встановлено, що селен є елементом слабого і дуже слабого захвату деревами (від 0,06 до 0,1) та травами (від 0,02 до 0,06). Зроблено висновки щодо рослин-концентраторів селену для різних кліматичних зон, якими є м'ята та сухоцвіт, що можуть бути використані у якості фітопрепаратів. На основі вивчення вмісту селену в зернових – пшениця, ячмінь; овочах – картопля, томати, часник, морква, доведено, що в аридних умовах (Українське Полісся) селен поглинається рослинами з ґрунтів більше, ніж у гумідних умовах (Данія, Норвегія), що пов'язано з кліматичними особливостями та водним режимом ґрунтів.

*Ключові слова:* селен, біодоступність, дефіцит, розподіл.

**Вступ.** За останні 100 років вміст селену в ґрунті істотно зменшився, і ця тенденція продовжує наростати. У багатьох регіонах спостерігається дефіцит селену в ґрунті і, як наслідок, дефіцит його в рослинах. Треба зазначити, що добрива, які містять селен, не є ефективним його джерелом, оскільки нітрати, хлориди і фосфати в них зв'язують селен у нерозчинні сполуки. Вміст селену в рослинах у середньому складає 0,001 мг/кг [2]. За недостатнього вмісту селену у рослин затримуються ріст і цвітіння, вони втрачають стійкість до мінливих факторів середовища, особливо до переохолодження і до засолення ґрунту, часто спостерігаються хлороз і в'янення.

Україна, Франція, Данія та Норвегія є розвинутими країнами з великою кількістю населення, де вміст селену у ґрунтах є недостатнім, що впливає на якість життя. Тому дослідження, присвячені питанням отримання фітопрепаратів із рослин-концентраторів селену є актуальним, чому і присвячена дана робота.

**Мета роботи.** Вивчити поведінку селену в рослинах різних кліматичних зон на прикладі України (Українське Полісся), Франції, Данії та Норвегії.

**Методика досліджень.** На основі літературних даних і власних досліджень проведено вивчення вмісту селену у рослинах різних типів. На території України (Українське Полісся) автором відібрано проби рослинності і виконано їх аналітичне опрацювання. Методика досліджень складалась з таких етапів. Рослинність відбирали не раніше, ніж через три дні після дощу і швидко відмивали

від частинок ґрунту в день відбору. Траву відбирали на рівні 10–15 см від поверхні землі, тобто відрізали найбільш забруднені частини. Для аналізування використана або вся рослина, або окремі її частини. Інколи для повного аналізу траву викопували разом з кореневою частиною. Квіткові частини рослин при підозрі на можливість їх пилового забруднення не відбирали. Для опробування дерев вибирали зразки одного віку (одного зросту) та в напрямку однієї сторони світу. Зразок відбирали на однаковій висоті від поверхні землі, при цьому гілки відрізали приблизно одного діаметру і довжиною близько 25 см.

Об'єм відібраних проб визначається вагою необхідної наважки попелу (0,5–20 г), достатньої для проведення запланованих аналітичних робіт. У середньому відсоток зольності рослин становить 10–15 % від сухої ваги. Озолення проводиться до попелясто-сірого кольору. Відібрані проби поміщали в попередньо пронумеровану тару (мішечки, паперові пакети тощо). Підготовка рослинних зразків для аналізу полягає в попередній їх очистці від побічних механічних забруднень, домішок інших видів рослин та видалення непридатних частин рослин. У пробах дерев необхідно провести сортування окремо деревної та листової частин. Деревна частина подрібнюється для подальшої обробки. У зв'язку з тим, що рослини в більшості випадків забруднені атмосферним пилом, ці зразки потрібно промивати. Промивку проводять у скляному ексікаторі дистильованою водою протягом 5–10 хвилин. Більш тривалу промивку проводити недоцільно, аби уникнути вимивання елементів. Після промивки проби висушували в

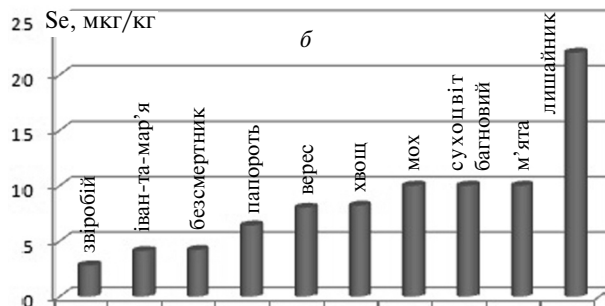
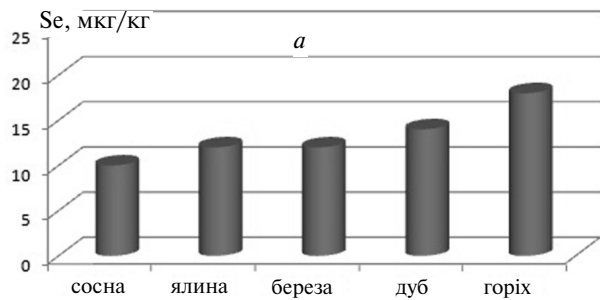


Рис. 1. Вміст селену у рослинах: а – деревах, б – травах, мохах

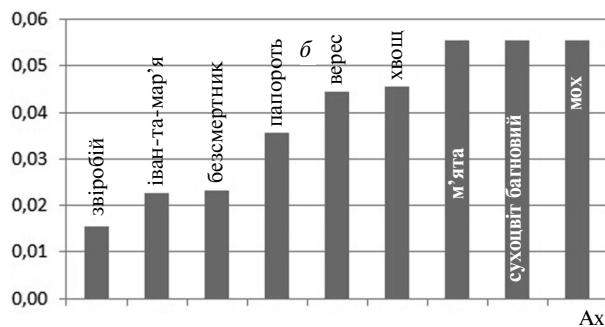
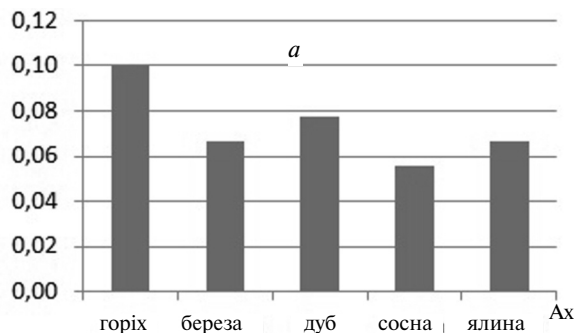


Рис. 2. Коефіцієнт біологічного поглинання селену рослинами: а – деревами, б – травами, мохом

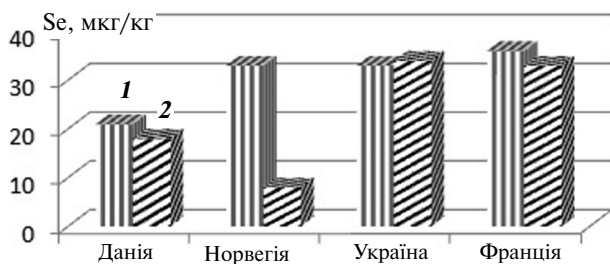


Рис. 3. Вміст селену у пшениці та ячмені різних країн: 1 – пшениця, 2 – ячмінь

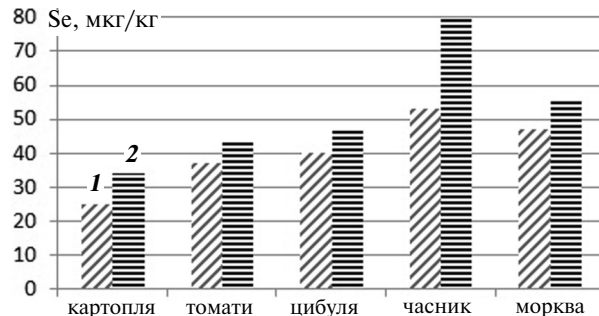


Рис. 4. Вміст селену в овочах за різних кліматичних умов, клімат: 1 – вологий, 2 – сухий

закритих приміщеннях до сухого повітряного стану. Озолення здійснено у відкритій муфельній печі для доступу повітря і згоряння проб рослин за температури 450–500 °С в фарфорових чашках. Потім кришку муфелю закривають і продовжують озолення протягом 1–2 годин, внаслідок чого видаляються вода та органічні речовини та відбувається концентрування металів.

Визначення вмісту селену у рослинності проведено за допомогою методу ICP-MS в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

**Характеристика території досліджень.** Розглянуто вміст селену в рослинності країн, які належать до різних кліматичних зон [4].

На території Українського Полісся переважає досить континентальний клімат (велика різниця між зимовими і літніми умовами).

Середній абсолютний мінімум температури до –36 °С, середня зимова температура на заході зони –4–5 °С, на сході –7–8 °С. Тривалість безморозного періоду 150–165 днів. Річна сума опадів 500–600 мм, протягом року вони розподілені нерівномірно, але 70 % припадає на теплий період.

Територія Франції ділиться на три кліматичні зони: океанічну, напівконтинентальну і середземноморську. Ще, через особливості рельєфу, можна виділити гірський клімат. На території Франції переважає (2/3 площі) океанічний клімат. Тут волого, але кліматичні умови досить м'які, взимку тепло, а влітку прохолодно. Опадів не так багато. Такий клімат ділять на три види: фламандський на півночі – холодно взимку і з дощами влітку, аквітанський на південному заході – сухе спекотне літо, а навесні часто йдуть дощі, і паризький – жарке літо і холодна зима.

Територія Норвегії зазнає впливу кількох кліматичних поясів. Клімат загалом досить м'який, на континентальній частині помірно морський. Немає різких перепадів температур, а опади випадають відносно рівномірно. Такі умови, особливо на заході, забезпечує тепла течія Гольфстрім, зігріваючий країну, а також те, що більша частина Данії розташована в низовині. Середня температура в зимові місяці тут коливається від +2 до  $-4^{\circ}\text{C}$ . Найтепліше в липні і серпні, повітря в ці дні прогрівається до  $+10 \dots +12^{\circ}\text{C}$  вночі і  $+16 \dots +18^{\circ}\text{C}$  вдень. Мінімальна кількість опадів випадає в травні, максимальна – у вересні та жовтні. Центр Норвегії відрізняється помірним континентальним кліматом. Зима тут триває з жовтня до березня. У січні середня температура повітря становить  $-15 \dots -17^{\circ}\text{C}$  вночі,  $-6 \dots -7^{\circ}\text{C}$  в денний час доби. Найтепліше в липні, стовпчик термометра в цей час тримається на позначці  $+7 \dots +10^{\circ}\text{C}$  вночі і  $+17 \dots +18^{\circ}\text{C}$  вдень. Найменше опадів випадає в період з березня до травня.

Північні території країни знаходяться за межами Полярного кола, у зоні субарктичного клімату. Найхолодніший місяць – лютий, температурні коливання в цей час становлять  $-10 \dots -22^{\circ}\text{C}$ . У липні цей показник дорівнює  $+6 \dots +18^{\circ}\text{C}$ . Дощі йдуть з вересня до жовтня. Зими в Данії не суворі, досить сонячні, тривають з грудня по березень. Для цього періоду характерна висока вологість, холодна і суха погода. У денні години температура тримається на позначці  $0^{\circ}\text{C}$ , вночі опускається до  $-2^{\circ}\text{C}$ . Середня температура грудня, січня і лютого практично однакова, до  $-7^{\circ}\text{C}$  опускається рідко.

Для аналізу вмісту селену в рослинності було обрано різні кліматичні зони – Україна (Українське Полісся) – доволі континентальний клімат; узбережжя Франції – середньоземноморський клімат; північні частини Норвегії – субарктичний клімат, територія Данії – помірно морський.

В цілому, клімат Українського Полісся та Франції подібний (річна кількість опадів 500–600 мм), а клімат Норвегії та Данії більш вологий (річна кількість опадів 900 мм).

**Результати та обговорення.** На території Українського Полісся найбільш розповсюдженими є дерева – горіх, дуб, сосна, вільха, береза, ялина; 13 видів трав, серед яких – верес, безсмертник, м'ята, та інші. Було проаналізовано вміст селену у деревах та травах (рис. 1).

Загалом вміст селену вищий у дерев (середній вміст  $14 \text{ мкг/кг}$ ), причому вміст селену збільшується в ряду,  $\text{мкг/кг}$ : сосна (10) – ялина, береза (12) –

дуб (14) – горіх (18). Середній вміст селену в травах складає  $6 \text{ мкг/кг}$ , і збільшується в ряду,  $\text{мкг/кг}$ : звіробій (2,8) – іван-та-мар'я (4,1) – безсмертник (4,2) – папороть (6,4) – верес (8) – хвощ (8,2) – сухоцвіт, м'ята (10). Максимальний вміст селену у м'яти –  $10 \text{ мкг/кг}$ ; мох також вміщує  $10 \text{ мкг/кг}$ . Тобто, дерева більше накопичують селен, ніж трави.

Важливим показником ступеня накопичення селену рослинами з ґрунтів є коефіцієнт біологічного поглинання ( $A_x$ ) [5], який дорівнює відношенню вмісту селену у рослині до вмісту його у ґрунті. Для аналізу було взято листя дерев та наземну частину трав. Для дерев  $A_x$  найбільший у листі горіха та дуба, для трав – сухоцвіту та м'яти. Загалом, селен є елементом слабкого і дуже слабкого захвату деревами (від 0,06 до 0,1) та травами (від 0,02 до 0,06) (рис. 2).

Для встановлення можливості надходження селену у рослини у різних кліматичних умовах було обрано пшеницю й ячмінь, як такі, що розповсюджені на території досліджень. Шляхом аналізу даних щодо вмісту селену у злакових рослинах різних країн (рис. 3) – Данія, Норвегія, Україна та Франція, встановлено, що вміст селену більший у країнах з теплішим кліматом (Україна, Франція).

У країнах з холодним кліматом (Данія, Норвегія) вміст селену менший. Найбільш показовим у цьому плані є ячмінь, за вмістом селену у якому можна визначити кліматичну зону країни.

Також проаналізовано вміст селену в овочах на територіях країн з переважанням вологого та сухого клімату (рис. 4). Оскільки літній період в Українському Поліссі і Франції досить сухий, а в Данії та Норвегії вологий, рослина в сухій зоні накопичує селен в 1,2–1,4 рази більше, ніж у вологій. Найбільший вміст селену зафіксовано у часнику: в сухій зоні  $80 \text{ мкг/кг}$ ; у вологій –  $52 \text{ мкг/кг}$ , найменший у картоплі –  $23\text{--}32 \text{ мкг/кг}$ .

Біодоступність селену для рослин залежить від типу ґрунтів, на яких вони ростуть. На території Норвегії та Данії розвинуті добре дреновані підзолисті ґрунти, рН яких близький до нейтрального, а на території Українського Полісся та Франції переважають дерново-підзолисті ґрунти з наявністю органічної речовини.

За результатами досліджень встановлено, що доступність селену для рослин залежить від ряду факторів, серед яких велике значення мають температурні умови. На території Українського Полісся і Франції, де влітку сонячно (температура вище  $+25^{\circ}\text{C}$ ) рослини поглинають більше селену, ніж у Данії та Норвегії, де середня температура

нижче +15 °С. Також вплив на концентрацію селену обумовлюють дощі. Наприклад, в Данії та Норвегії, де кількість опадів складає 900 мм, зафіксований низький вміст селену.

Тобто поглинання селену рослинами залежить від кліматичних умов, водного режиму ґрунтів та ін. В аридних умовах, де переважає ґрунт з близьким до нейтрального та лужного рН, серед мінеральних форм селену переважають селенати, які характеризуються високою розчинністю, і селен, таким чином, має вищу біодоступність. І, навпаки, в гумідних умовах, де переважають мінеральні форми селену у вигляді селенітів, біодоступність значно менша [3]. Це пояснює значно вищий вміст селену у рослин аридних умов у порівнянні з рослинами гумідних.

Мінімальна доза селену, необхідна людині, становить 40–100 мікрограмів на добу. Не отримуючи цієї кількості елемента, людина стає вразливою до багатьох хвороб (хвороби легенів, серцева недостатність та ін.) [1]. Зважаючи на те, що на територіях розглянутих країн вміст селену у ґрунтах недостатній, можна рекомендувати рослини, які є концентраторами селену (накопичують у декілька разів більше, ніж представники інших видів, що зростають поруч). Серед них можна рекомендувати м'яту та сухоцвіт, які накопичують

селену уятеро більше, ніж звіробій. Доведено, що рослини в якості джерела селену, загалом корисніші та ефективніші за таблетки. По-перше, селен у рослинах пов'язаний з органічними речовинами і краще засвоюється, по-друге, фітопрепарати діють на організм людини безпечніше, ніж синтетичні препарати, значно рідше викликають побічні реакції, не накопичуються в організмі.

У цьому відношенні позитивним є приклад Фінляндії, де впроваджені спеціальні програми збагачення селеном продуктів харчування для населення.

**Висновки.** У результаті аналізу вмісту селену у рослинах різних типів, які зростають у країнах з різними кліматичними умовами – Україна, Франція, Данія та Норвегія, встановлено вплив клімату та водного режиму ґрунтів на концентрацію елемента. Визначено, що селен є елементом слабкого і дуже слабкого захвату деревами (від 0,06 до 0,1) та травами (від 0,02 до 0,06). Отримані результати щодо вмісту селену у травах (звіробій, іван-тамар'я, безсмертник, папороть, верес, хвощ, сухоцвіт та м'ята) дозволили рекомендувати сухоцвіт і м'яту у якості фітопрепаратів. Доведено, що в аридних умовах (Українське Полісся) селен поглинається рослинами з ґрунтів більше, ніж у гумідних умовах (Данія, Норвегія).

#### Список літератури

1. Ермаков В.В. Биологическое значение селена / В.В. Ермаков. – М. : Наука, 1974. – 298 с.
2. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов / В.В. Иванов. – М. : Недра, 1996. – Т. 3. – 352 с.
3. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 440 с.
4. Пестушко В.Ю. География материков и океанов / В.Ю. Пестушко, В.О. Сасихов, Г.Є. Уварова. – К. : Абрис, 1995. – 288 с.
5. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М. : Высш. шк., 1989. – 330 с.

#### *Popenko E.S. Features Distribution of Selenium in Plants of Different Climatic Zones.*

The analysis of selenium content in different types of plants that grow in countries with different climatic conditions – Ukraine, France, Denmark and Norway. Calculated biological absorption coefficient for plants (leaves of trees and stalk or grasses), which found that selenium is an element of weak and very weak trees accumulation (from 0.06 to 0.1) and herbs (from 0.02 to 0.06). The conclusions about the plant of selenium hubs for different climate zones, which are mint and suhosvit that can be used as phitomedicine. On the basis of the content of selenium in cereals – wheat, barley; vegetables – potatoes, tomatoes, garlic, carrots proved that in arid conditions (Ukrainian Polissya) selenium is absorbed by plants from the soil for more than in humid conditions (Denmark, Norway), due to climatic conditions and water regime of soil.

*Key words:* selenium, bioavailability, shortage, distribution.

#### *Попенко Э.С. Особенности распределения селена в растительности разных климатических зон.*

Проанализировано содержание селена в растениях разных типов, растущих в странах с различными климатическими условиями – Украина, Франция, Дания и Норвегия. Рассчитан коэффициент биологического накопления растений (листья деревьев и верхняя часть трав), по которому установлено, что селен – элемент слабого и очень слабого захвата деревьями (от 0,06 до 0,1) и травами (от 0,02 до 0,06). Сделаны выводы относительно растений-концентраторов селена для разных климатических зон, которыми служат мята и сухоцветы. Они могут быть использованы в качестве фитопрепаратов. На основе изучения содержания селена в зерновых – пшеница, ячмень; овощах – картофель, томаты, чеснок, морковь, доказано, что в аридных условиях (Украинское Полесье) селен поглощается растениями из почвы больше, чем в гумидных условиях (Дания, Норвегия), что связано с климатическими особенностями и водным режимом почв.

*Ключевые слова:* селен, биодоступность, дефицит, распределение.

Надійшла 30.09.2015