

## Distribution of Selenium in soil-water system and plant-poultry-human food chain: a review

A. Sobolev

*Bila Tserkva National Agrarian University*

*E-mail: sobolev\_a\_i@ukr.net*

Submitted: 14.04.2017. Accepted: 11.06.2017

Selenium is an essential micronutrient required for normal functioning of living organisms. It is distributed in inorganic and organic forms in marine and freshwater systems, in soils, biomass, and atmosphere. Its distribution patterns in terrestrial ecosystems have great diversity. There are biogeochemical provinces with selenium deficiency and toxic concentrations of this trace element. Variability of biochemical characteristics of soil and water in different regions of the world makes significant differences in the content of selenium in plants. The total content of selenium in plants depends on several factors: soil type, pH, redox potential reserves of selenium in soils, selenium compounds form (available or unavailable), precipitation, temperature and growth stage of the plant.

There is a correlation between the content of selenium in the soil and feed on plants, on the one hand, and animals and birds – on the other. Cereal crops, animals and birds, grown in soils of different types of ecosystems are included in human food chain, therefore food is a major source of selenium for human organism. Selenium status of the population varies, from 10 g<sup>3</sup>/day in selenium deficient regions to 1400 g<sup>3</sup>/day in regions with selenium toxicity.

Large number of countries are characterized by moderate and low levels of selenium intake from foods of plant-grower and stock-raising. Inadequate flow of it in the body (depending on the degree of deficiency) could lead to physiological changes within the normal regulation or significant metabolic disorders or cause the specific diseases, since selenium deficiency is associated with more than 75 different diseases and pain symptoms. The only way of selenium contamination increase in human organism is the selen inclusion in the diet enriched with such micronutrient, like poultry meat.

The selenium-enriched dietary meat product can be considered as biocorrection food and its consumption will contribute to the prevention of hiposelenoz. Nevertheless, there is a narrow range between the recommended rates (50–120 g<sup>3</sup>/day) and the maximum permissible level of selenium consumption (400 g<sup>3</sup>/day) while at high concentrations it can cause toxic effects in human body. Further comprehensive environmental and toxicological studies of migration patterns and levels of selenium in the environment should be done to minimize adverse effects to human health associated with dangerous concentrations of selenium.

**Keywords:** *selenium bioaccumulation, soil, water, feed grains, poultry meat, human.*

---

## Міграція селену у біогеохімічному ланцюзі: ґрунт– вода– рослина–продукція птахівництва–людина

О. І. Соболев

*Білоцерківський національний аграрний університет*

*E-mail: sobolev\_a\_i@ukr.net*

Селен – один з найважливіших мікроелементів, необхідних для нормального функціонування живих організмів. У навколишньому середовищі він присутній як у неорганічних, так і органічних формах у морських і прісноводних системах, ґрунтах, біомасі та атмосфері. Розподіл його в наземних екосистемах відзначається великою різноманітністю. У світі існують біогеохімічні провінції глибокого дефіциту і токсичних концентрацій цього мікроелементу. Варіабельність біохімічних характеристик ґрунтів і води різних регіонів світу зумовлює суттєві відмінності щодо вмісту селену в рослинах. Загальний вміст селену в рослинах залежить від ряду чинників: типу ґрунту, величини рН, окисно-відновного потенціалу, запасів селену у ґрунтах, форм селенових сполук (доступна чи недоступна), опадів, температури

та стадії росту самої рослини. Установлено кореляцію між вмістом селену у ґрунті та у кормових рослинах, з одного боку, та організмом тварин і птиці – з іншого. Зернові культури, тварини і птиця, що вирощені на ґрунтах різних типів екосистем, формують харчовий ланцюг людини. Тому харчові продукти є основним джерелом селену для організму людини. Селеновий статус населення сильно варіює: від 10 мкг/доб. – у селенодефіцитних регіонах до 1400 мкг/доб. – у регіонах селенозів. Значна кількість країн світу характеризується помірними та низькими показниками споживання селену з продуктами рослинництва та тваринництва. Недостатнє надходження його в організм людини (залежно від ступеня дефіциту) призводить або до фізіологічних змін у межах звичайної регуляції, або до значних порушень метаболізму, або до виникнення специфічних захворювань. Із дефіцитом селену пов'язано понад 75 різних захворювань та больових симптомів. Один із шляхів підвищення селенового статусу людини – включення в раціон продуктів, збагачених цим мікронутрієнтом, у тому числі й м'яса птиці. Збагачене селеном м'ясо можна вважати дієтичним продуктом функціонального призначення для людини з біокорегуючою дією. Його споживання сприятиме профілактиці гіпоселенузу. Крім того, такий підхід забезпечує демпферний ефект для людини і виключає можливість токсикозів, внаслідок специфічних дієтичних схильностей окремих осіб при непомірному споживанні збагаченого селеном продукту. При цьому слід враховувати, що між рекомендованими нормами (50–120 мкг/доб.) та максимально допустимим рівнем споживання селену (400 мкг/доб.) існує вузький діапазон і за високих концентрацій він може виявляти токсичну дію на організм людини. Подальші комплексні еколого-токсикологічні дослідження рівнів та закономірностей міграції селену в навколишньому середовищі необхідні передусім для мінімізації негативних наслідків для здоров'я людей, пов'язаних з небезпечними концентраціями цього мікроелемента.

**Ключові слова:** селен, біоаккумуляція, ґрунт, вода, зернові корми, м'ясо птиці, людина.

## Історія відкриття селену

Селен посідає особливе місце серед сімнадцяти мікроелементів, які на сьогодні визнані життєво-необхідними для організму людини, тварин і птиці (Prashanth et. al., 2015).

Як біотичний елемент він має цікаву історію, і ця історія ще далеко не закінчена. Елемент був відкритий видатним шведським хіміком Йенсом Якобі Берцеліусом у співдружності з Гоплібом Ганом у 1817 році в шламах свинцевих камер сірчаноокислого заводу в Гріпсхольмі. Новий елемент мав хімічну схожість з телуром, відкритим в 1798 році і названому на честь Землі (Tellus – Земля). За аналогією, Я. Барцеліус назвав новий елемент грецьким словом "Selene", що в перекладі означає – Місяць (як Місяць – супутник Землі, так селен – супутник телуру). Перша згадка в літературі щодо біологічної ролі селену відноситься до 1842 року, коли з'ясувалося, що *Bacillus ferreus* здатні відновлювати сполуки селену. У більш пізніх роботах (1885 р.) було показано, що рослини здатні поглинати селен, розчинений для них у воді. Подальші дослідження підтвердили вплив селену на окисні процеси клітинного метаболізму (Gromova et. al., 2007).

Розуміння ролі селену в живленні тварин прийшло в 1931 році, коли виявили, що причиною ряду ендемічних хвороб великої рогатої худоби, свиней та домашньої птиці на території Великих рівнин Америки стало споживання ними рослин і зерна із надлишковим вмістом селену. Ознаками отруєння селеном були: втрата ваги, випадіння волосся, ураження суглобів, кісток, копит і шкіри, втрата зору (тварини спотикалися), параліч і, як наслідок, загибель від виснаження. Аналогічні симптоми були описані у коней ще у 1856 році. Проте, тоді їх не пов'язували з селеновим токсикозом (Schrauzer et. al., 2009). Згодом території із надлишком селену в ґрунтах і рослинах і випадки селенового токсикозу у тварин були встановлені в Канаді, Ірландії, Колумбії, Австралії, Англії, в країнах СНД та в інших країнах.

До 1957 року селен розглядався виключно як токсичний мікроелемент. І лише у 1957 році вчені К. Schwarz і С. Foltz із Національного інституту охорони здоров'я (США) встановили життєву необхідність селену, продемонструвавши в ході класичних експериментів, що саме цей мікроелемент запобігає розвиткові некротичної дегенерації печінки у щурів. Це стало початком використання сполук селену в терапії білом'язової хвороби овець і великої рогатої худоби, аліментарного гепатиту свиней, ексудативного діатезу, енцефаломаліяції птиці та інших хвороб. У 1974 році Управління по контролю над продуктами харчування та лікарськими засобами США (Food and Drug Administration, FDA) схвалило добавку селену в раціони тварин і птиці у формі селеніту натрію в кількості 0,1 мг/кг. Через 5 років FDA переглянула максимально допустимий рівень включення селену в комбікорми і підвищило його до 0,3 мг/кг. Пізніше, завдяки дослідженням багатьох науковців, цей рівень був піднятий до 0,5–1,0 мг/кг залежно від країни світу (Arnér, 2012). У наступні роки вітчизняними та зарубіжними вченими виконано значний обсяг робіт щодо подальшого вивчення біологічної ролі та механізму дії селену на живий організм.

## Фізико-хімічні властивості селену

Одержати повне наукове уявлення про біологічну дію селену на організм птиці імовірно не можливо без урахування його фізико-хімічних властивостей та положення у періодичній системі Д.І. Менделєєва. Селен – 34-й хімічний елемент VI групи, 4 періоду (основної підгрупи) періодичної системи, з атомною масою 78,96, неметал. Атомний та ковалентний радіуси, відповідно, 0,14 та 0,116 нм. Сумарний потенціал іонізації – 255,55. Електронегативність за Полінгом – 2,55. Температура кипіння – 684,9 °С (958,05 К, 1264,82 °F). Густина – 4,79 г/см<sup>3</sup>. Кількість протонів (електронів) – 34, нейтронів – 45. Колір – сірий, з металевим блиском.

Електронна формула селену має вигляд  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$ . Електронні рівні (оболонки) селену – К, L, M та N – мають відповідно, 2, 8, 18 та 6 електронів. Зовнішня електронна оболонка атома селену ( $4s^2 4p^4$ ) включає шість електронів, що зумовлює його металоїдні властивості. У перших двох *p*-електронів спіни спарені, а в останніх двох – неспарені, що зумовлює парну валентність (+2, +4, +6) і здатність атомів селену утворювати молекули  $Se_2$  або ланцюжки

атомів Se<sub>n</sub>. Останні у свою чергу можуть замикатися у кільцеві молекули Se<sub>8</sub>. Наявність у селену чотирьох енергетичних рівнів, розміри його атомних і ковалентних радіусів вказують на зменшення потреби в енергії, що необхідна на відрив зовнішніх електронів, у зв'язку з чим знижуються потенціали іонізації та електронегативність.

Селен здатний змінювати склад і будову своєї молекули залежно від зовнішніх умов. Різноманітність молекулярної будови селену зумовлює існування алотропних модифікацій елемента: аморфної (порошкоподібний, колоїдний, склоподібний) та кристалічної (моноклінний *a*- та *b*-форми, гексагональний *g*-форми). Здатність селену зміщувати електронну пару у бік одного із атомів при утворенні тих чи інших речовин визначає його ступінь окиснення: -2, 0, +2, +4, +6. Усі ступені окиснення елемента зазвичай зустрічаються у природі, за винятком стану +2. У сполуках селен може бути негативно двовалентним (селеніди) та позитивно чотири- і шестивалентним (селеніти та селенати відповідно) (Glinka et. al., 2009; Grinvud et. al., 2008).

## Природні форми селену

Селен у природі існує у неорганічній та органічній формах. Найчастіше неорганічний селен може бути знайдений у формі селеніту, селенату, селеніду або в елементарному стані (Se<sub>0</sub>). Основними природними формами органічного селену є селенометіонін (CH<sub>3</sub>-SeCH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>-COOH) і селеноцистеїн (HSeCH<sub>2</sub>-CHNH<sub>2</sub>-COOH), де він знаходиться у стані окиснення Se<sup>-2</sup> (Surai, 2007).

Відомо більш як 50 мікромінералів, що включають селен. В основному він зустрічається у рудах сульфідних, ураново-ванадієвих, молібдатних, фосфоритних та сірчаних родовищ. Селен утворює рідкісні мінерали, які представлені головним чином такими формами: селенатами свинцю (керстеніт), натрію і калію; селенітами свинцю (молебдоменіт), міді (халькоменіт) і нікелю (альфельдит); селенідами свинцю (клаусталіт, зоргіт), міді (клокманіт, берцеліаніт), срібла (науманіт, еквайрит, круксит) і ртуті (тиманіт). Крім того, зустрічається і самородний селен (Ralston et. al., 2009). У природі відома значна кількість ізотопів селену, із яких шість є стабільними, з такою розповсюдженістю: <sup>74</sup>Se (0,87 % за масою), <sup>76</sup>Se (9,02 %), <sup>77</sup>Se (7,58 %), <sup>78</sup>Se (23,52 %), <sup>80</sup>Se (49,82 %) та <sup>82</sup>Se (9,19 %), а решта – двадцять чотири – радіоактивними, з різними періодами напіврозпаду, в діапазоні масових чисел від 65 до 94. Хоча у природних умовах радіоізотопи селену не зустрічаються, деякі з них можуть бути одержані шляхом нейтронної активації (Perel'man, 2016; Reilly, 2006).

Масова частка селену у земній корі становить у середньому 6·10<sup>-5</sup> %, ґрунтах – 1·10<sup>-6</sup> %, морській воді – 4·10<sup>-7</sup> %, прісній воді – 3·10<sup>-6</sup> %, рослинах – 1·10<sup>-7</sup> %. Низькі концентрації селену виявлені у повітрі (менше 10 нг/м<sup>3</sup>) і дощовій воді (Karnauhov et. al., 2003).

Не викликає сумніву той факт, що переміщення хімічних елементів у біосфері відбувається за схемою: ґрунт – вода – рослина – тваринні організми – людина (Anke et. al., 2003). Цей послідовний шлях міграції складає біогеохімічний ланцюг, котрий ми і простежимо. Розподілення селену в ґрунтах, рослинах, продукції тваринництва та птахівництва у різних регіонах Землі відзначається великою різноманітністю (Muroh, 2006).

## Селен у ґрунтах

Залежно від типу ґрунтоутворювальних порід, окисно-відновних і лужно-кислотних умов кларк селену в ґрунтах може змінюватися від 1·10<sup>-6</sup> до 1·10<sup>-3</sup> % (Ermakov, 1995). Його вміст у магматичних породах рідко перевищує 0,05 мг/кг. В осадових породах селен зв'язаний з глинистою фракцією і тому концентрація його вища – від 0,05 до 0,60 мг/кг. У самородній сірці та сульфідних мінералах його концентрація може досягати 200 мг/кг. Проте, у сірчаних відкладеннях осадового походження вміст селену зазвичай нижче 1 мг/кг (Kabata-Pendias et. al., 2007).

Ґрунти успадковують рівень концентрації селену материнських порід. На розподіл селену в ґрунтах впливає їхній гранулометричний склад, вміст гумусу, карбонатів, фізичної глини. Вміст селену в різних ґрунтах зазвичай варіює від 0,1 до 2 мг/кг з незначними відхиленнями від цього показника (Surai, 2007; Gupta Umesh et. al., 2000). Тропічні та субтропічні ґрунти містять відносно високі рівні селену (> 0,30 мг/кг). Ґрунти в помірному та пустельному кліматі мають середні концентрації селену (0,14–0,30 мг/кг), а ґрунти в помірному та вологому кліматі – дефіцитні за селеном (< 0,12 мг/кг) (Tap et. al., 2002).

Встановлено, що дефіцит селену характерний в основному для кислих ґрунтів, а надлишок – для лужних. У ґрунтах із рН 4–5 значна кількість мікроелементу знаходиться у вигляді елементарного селену, і незначна – селеніт-іонів. Останні утворюються при лужному середовищі. Вони достатньо стабільні і можуть мігрувати до того часу, поки не будуть адсорбовані мінеральними або органічними часточками. Саме тому, у лужних ґрунтах вміст селену підвищений.

Середній вміст селену в поверхневому шарі ґрунтів земної кулі становить 0,4 мг/кг. В окремих регіонах його кількість змінюється від 0,01 до 300 мг/кг. Виходячи із загального вмісту селену, запропоновані наступні межі для областей різної забезпеченості ґрунтів цим мікроелементом, мкг/кг: менше 125 – область селенодефіциту; 125–175 – маргінальна недостатність; 175–3000 – область оптимуму; більше 3000 – область надлишку (Ibatullin et. al., 2004; Kabata-Pendias et. al., 2007).

Токсичні за селеном ґрунти зустрічаються головним чином в країнах з аридним кліматом, проте вони займають невеликі площі. Підвищені концентрації селену в ґрунтах характерні для територій, де поширені материнські породи та руди з високим його вмістом. Такі ґрунти зустрічаються в Ірландії (графства: Лімерік, Тіпперері, Міт), Канаді (штати: Альберта, Саскачеван, Мінесота), Колумбії, США (штати: Північна та Південна Дакота), на півдні Уралу, в Челябінській та Тувинській областях Росії. Проте, ґрунти багатьох країн відзначаються дефіцитом селену. Геохімічні провінції з дефіцитом селену зустрічаються в Новій Зеландії, Австралії, Китаї, США, Фінляндії, Данії, Атлантичній Канаді, країнах СНД та ін. (Ermakov, 2004). Найбільш часто зустрічаються селенодефіцитні території у великій зоні Нечорнозем'я, яка

простягнулася від північно-східних кордонів США, через усю Європу – північ Німеччини, Голландію, Польщу, через країни Балтії, Центральну Росію – на Урал, далі через увесь Сибір до східних кордонів Росії (Ermakov, 2006).

На території колишнього СРСР у ґрунтах діапазон вмісту селену визначається у межах від 0,01 до 0,50 мг/кг (Ibatullin et al., 2004; Kiriljuk, 2006), у забруднених ґрунтах – може досягати 1,2 мг/кг і вище (Golubkina et al., 2002). На сьогодні не проведено великомасштабного картування вмісту селену в ґрунтах певних регіонів та областей. Є лише окремі повідомлення, що концентрація селену в ґрунтах, наприклад, Московської області становить 0,25–0,72 мг/кг, Брянської – 0,23–0,69; Норильська – 0,86; Іркутської – 0,04–0,18; Читинської – 0,19–0,21; Кемеровської – 0,26–0,42; Амурської – 0,04–0,12; Туви – 0,78–1,10; Латвії – 0,50–1,01; Республіки Білорусь – 0,03–0,42; Республіки Молдови – 0,18–0,35 мг/кг (Golubkina et al., 2006; Perepjolkina, 2007; Mojseenok et al., 2006; Kapital'chuk et al., 2011).

Обмеженою є і кількість наукових робіт щодо вмісту селену в ґрунтах України. Так, його концентрація у верхньому (0–20 см) горизонті ґрунтів Чернівецької області становить 0,19–0,60 мг/кг (Rudenko et al., 1999), Одеської – 0,17–0,69 мг/кг (Shhelkunov et al., 2001), Південно-Присиваської акумулятивної рівнини – 0,19–1,34 мг/кг (Popenko et al., 2012). У цілому, за результатами досліджень, ґрунти на території колишнього СРСР, у т.ч. й на Україні, характеризуються пониженим вмістом селену з локальним зростанням його концентрації в окремих регіонах.

## Селен у природних водах

Іншим критерієм біогеохімічного прогнозу селенового статусу територій є вміст селену у поверхневих і підземних водах. У воді селену набагато менше, ніж у ґрунтах. Моніторинг селену в природних водах окремих регіонів країн колишнього СРСР показав, що практично у всіх досліджених пробах води його концентрація була низькою, за винятком вод техногенно-забруднених територій та вод гідрогеохімічних провінцій з підвищеним вмістом елемента (Уральська, Алтайська, Тувинська, Камчатська, Донецька, Середньоазійська, Молдавська). Крім того, отримані дані свідчать, що концентрація селену у поверхневих і ґрунтових водах неоднакова. Так, у річкових водах Європейської частини Росії вміст селену коливається в межах 0,20–0,50 мкг/л; Білорусі – 0,35–0,85; Середньої Азії – 0,30–2,00 (Reilly, 2006); Центрального Сибіру – 0,11 (Golubkina et al., 2004); Гірського Алтаю – 0,08–0,55 (Mal'gin et al., 2000); Східної України – 0,13–1,10 (Janchev et al., 2004); Молдови – 1,00–8,80 мкг/л (Kapital'chuk, 2011). У ґрунтових водах цих регіонів концентрація селену була вищою і становила, мкг/л: 0,50–2,03; 0,40–0,85; 2,20–2,40; 0,09–3,50; 0,10–2,09; 0,10–2,30; 4,00–7,10 відповідно. Також доведено, що основними джерелами селену в поверхневих водах є атмосферні опади, тверда атмосферна складова та ґрунтовий селен.

Вода, яка використовується для пиття, містить до 10 мкг/л селену, що відповідає гранично допустимій концентрації (Ibatullin et al., 2004). Максимальні ж величини цього показника можуть знаходитися у діапазоні 50–160 мкг/л (WHO, 2011). За результатами досліджень вітчизняних учених, у питній воді лісостепової зони України вміст селену в середньому становить 3–4 мкг/л, причому в криничній воді його концентрація вища, ніж у воді з свердловин і поверхневих джерел (Bardov et al., 2005). Для порівняння, в природних мінеральних водах Кавказького регіону ("Єсентуки", "Нагутська", "Новотерська цілюща") вміст селену в середньому становить 23–48 мкг/л (Shljarpunova et al., 2010). Фонова концентрація селену у морських водах становить 0,02–0,04 мкг/л (Ralston et al., 2009).

## Селен в рослинах і зернових кормах

Варіабельність біохімічних характеристик ґрунтів і води різних регіонів світу зумовлює суттєві відмінності щодо вмісту селену в рослинах. Загальний вміст селену в рослинах залежить від ряду чинників: типу ґрунту, величини рН, окисно-відновного потенціалу, запасів селену у ґрунтах, форм селенових сполук (доступна чи недоступна), опадів, температури та стадії росту самої рослини (Popenko, 2015; Galeas et al., 2007). У кислих ґрунтах переважають селеніди та сульфіди селену, які малорухливі і тому важкодоступні для рослин. У ґрунтах, рН яких близька до нейтральної домінують виключно селеніти, які активно фіксуються гідроксидами та оксидами заліза і тому також важко доступні для рослин. У лужних ґрунтах мають місце селенати, які легкорозчинні та достатньо рухливі, що робить їх доступними для рослин. Крім того, поглинання селену рослинами може перешкоджати наявність у ґрунтах інтерферуючих речовин, наприклад, сірки (Kabata-Pendias et al., 2007).

У рослинах ідентифіковані такі основні сполуки селену, як селенат,  $\gamma$ -глутаміл-Se-метилселеноцистеїн, селеноцистин, селеногомоцистеїн, селеноцистатіонін, Se-метилселеноцистеїн, Se-метилселенометіонін, селенометіонін, диметилселенопропіонат і диметилдиселенід (Schrauzer et al., 2003; Hasanuzzaman et al., 2010). Водночас встановлено, що рівень селеноцистину, метилселеноцистеїну та  $\gamma$ -глутаміл-Se-метилселеноцистеїну у рослинах відносно низький і не залежить від вмісту селену у ґрунті (Tariro et al., 2003).

У наземних частинах рослин концентрація селену вища, ніж у корені, але нижча, ніж у насінні. Проте, в окремих випадках стеблини та листя рослин акумулюють селену набагато більше, ніж зерно (Kapital'chuk et al., 2008).

За здатністю акумулювати селен рослини поділяються на три групи:

- рослини-акумулятори – здатні накопичувати селен до 1000 мг/кг сухої речовини і більше (деякі види *Astragalus*, *Brassica*, *Xylarrhiza*, *Oenopsis*, *Stagleyta* ін.);
- рослини, які здатні акумулювати селен до 200 мг/кг сухої речовини (деякі види *Aster*, *Grindelia*, *Gutierrezia*, *Atriplex*, *Penstemon*, *Castilleja*);
- рослини-неакумулятори – здатні накопичувати селен у середньому 0,1–1,0 мг/кг сухої речовини (більшість сільськогосподарських культур) (Golubkina et al., 2006).

Зазвичай вміст селену у кормових рослинах варіює від 0,1 до 2,0 мг/кг сухої речовини. У середньому рослинні корми містять селену 0,04–0,08 мг/кг сухої речовини.



В результаті проведених досліджень встановлено, що в традиційних для птахівництва зернових кормах мінімальний вміст селену становить 0,001 мг/кг (у Читинській області Росії), а максимальний – 2,00 мг/кг (в умовах Південної Докоти) (Golubkina et. al., 2006). Моніторинг умісту селену в зернових кормах різних регіонів Росії дозволив виявити існування широких меж концентрації мікроелемента, зокрема: у пшениці – 0,001–0,271 мг/кг, ячменю – 0,003–0,200, кукурудзі – 0,036–0,242, гороху – 0,046–0,198 мг/кг. При цьому середня кількість акумулювання селену по зерновій групі у семи федеральних округів Росії коливалася від 0,076 до 0,126 мг/кг (Golubkina et. al., 2006; Parazjan et. al., 2006; Parazjan et. al., 2008). Найбільш селенодефіцитними провінціями Росії виявилися Читинська область, Бурятія та Хабаровський край (Golubkina, 2006).

Дослідження, проведені Інститутом екології та географії АН Молдови, показали, що вміст селену в зернових кормах цієї країни також невисокий. Так, рівень його у пшениці коливається від 0,078 до 0,143 мг/кг; ячменю – від 0,094 до 0,157; кукурудзі – від 0,089 до 0,128 мг/кг. У середньому величина виносу селену із ґрунту із зерном цих сільськогосподарських культур становить, відповідно, 0,111; 0,125 та 0,104 мг/кг (Kapital'chuk et. al., 2008). Для країн Балтії характерна більш висока концентрація селену (в середньому 0,2 мг/кг) у зернових культурах (Golubkina, 1998).

Рівень селену в кормових інгредієнтах, що вироблені на Україні, є досить низьким – зазвичай менше 0,1 частин на мільйон (Melnichuk et. al., 2008). Вітчизняні вчені, проаналізувавши велику кількість рослинних зразків, дійшли висновку, що концентровані корми, із зернових культур, які вирощені на території України, є дефіцитними на селен. В основних зернових кормах зон Степу і Лісостепу та на Поліссі його в середньому міститься, відповідно, мг/кг: у кукурудзі – 0,058 та 0,059; пшениці – 0,038 та 0,045; ячменю – 0,089 та 0,074; вівсі – 0,072 та 0,074 (Djachenko et. al., 2008). Подібні дані щодо низьких концентрацій селену в концентрованих кормах зустрічаються і у публікаціях інших українських науковців (Sobolev et. al., 2016). Показово, що для більшості європейських країн вміст селену у фуражному зерні не перевищує 0,05 мг/кг, що свідчить про глибокий дефіцит цього елемента для сільськогосподарських тварин і птиці (Surai, 2006).

Виявлено, що концентрація селену в кормах непостійна. На неї, поряд зі складом та кислотністю ґрунту можуть впливати такі фактори, як період року, сорт культури, агротехніка вирощування, вид збирання, умови зберігання, вміст білка та важких металів, наявність ненасичених жирних кислот тощо (Mehdi et. al., 2013).

## Селен у продукції птахівництва

Установлена певна кореляція між вмістом селену у ґрунті та у кормових рослинах, з одного боку, та організмом птиці – з іншого (Tishenkov et. al., 2006; Petrovic et. al., 2006; Ivahnik, 2008; Surai, 2002). За відсутності селеновмісних преміксів концентрація селену в організмі птиці може коливатися від 0,02–0,06 мг/кг (у районах селенового дефіциту в Китаї) до 0,4 та 0,7 мг/кг (у районах селенозу в Південній Дакоті та Венесуелі відповідно).

Акумуляція селену в організмі птиці має свою специфічність – він може депонуватись у клітинах усіх тканин, крім жирової. Органи та тканини за здатністю накопичувати селен можна перелічити в такому убуваючому порядку: печінка, нирки, легені, м'язи, кістки та серце (Surai, 2006; Combs, 2001). Проте, деякі вчені твердять, що м'язи птиці акумулюють селену менше, ніж кістки, (зокрема великогомілкові) (Ivahnik, 2008) та серце (Gonockij et. al., 2002). Крім того, виявлено, що депонування селену у грудних м'язах більшості видів птиці виражено слабше, ніж у м'язах ніг (Kricova et. al., 2003; Sobolev, 2013).

Сьогодні забезпечити птицю селеном можна тільки за рахунок добавок неорганічних або органічних форм цього мікроелементу. І в майбутньому навряд чи вдасться, змінюючи тип живлення рослин, підвищити вміст цього мікроелемента в основних компонентах комбікормів до такого рівня, щоб задовольнити потребу високопродуктивної птиці в селені. З підвищенням рівня селену в раціоні птиці зростає його концентрація у продукції птахівництва, зокрема м'ясі та яйцях (Fisinin et. al., 2009; Bertechini et. al., 2015; Shtele, 2010). Проте, дані щодо впливу добавок селену в комбікорми на накопичення його в органах і тканинах різних видів сільськогосподарської птиці досить суперечливі та не завжди піддаються коректному порівнянню.

У дослідях на курях-несучках встановлено, що при низькому рівні селену в раціоні (0,03 мг/кг) вміст його у м'язах грудей становив 5,3 мкг/%. Експериментально доведено, що згодовування курям-несучкам протягом шести місяців комбікормів з добавками селену 0,2 та 0,6 мг/кг призвело до різного ступеня акумуляції мікроелемента в грудних м'язах: 18,6 та 41,0 мкг/% відповідно (Ivahnik, 2008). Іншим ученим (Shevchenko, 2006) були одержані результати, які доводять, що при споживанні упродовж шести тижнів комбікормів збагачених селеном у дозі 0,2 мг/кг, вміст його в м'язовій тканині курей-несучок дорівнював лише 5 мкг/%, а у дозі 0,5 мг/кг – 13,0 мкг/%.

За природного вмісту селену в комбікормах (0,09–0,18 мг/кг) у м'язах 60-денних курчат-бройлерів кросу "Смена" рівень його становив 16,9 мкг/% (Japparov et. al., 2006). У курчат-бройлерів кросу СОВВ, які вирощувалися на селенодефіцитному раціоні (0,08–0,10 мг/кг), концентрація елемента у м'язах грудей та ніг становила відповідно 6,0 та 7, кг/%. Уведення добавок селену в комбікорми в дозах 0,2–0,4 мг/кг сприяло підвищенню його концентрації в грудних м'язах їх ровесників до 7,3–12,4 мкг/%, а у м'язах ніг – до 8,7–14,3 мкг/% (Sobolev, 2013). М'ясо 49-денних курчат-бройлерів, яким упродовж періоду вирощування збагачували комбікорми селеном із розрахунку 0,2 та 0,3 мг/кг, містило його в середньому 5,6 та 8,2 мкг/% відповідно (Rassolov et. al., 2008). Аналогічні дані щодо концентрації селену у м'язовій тканині (8,2 мкг/%) одержані при проведенні досліджень на курчатах-бройлерах кросу Хаббард Флекс, але вже при введенні його в комбікорм у дозі 0,5 мг/кг (Ponomarenko, 2007).

Відмінності щодо концентрації селену в м'ясі курей-несучок і курчат-бройлерів, навіть при однакових дозах введення його в комбікорми, напевно пояснюються різницею геохімічних зон та умовами годівлі, в яких проводилися дослідження, складом раціону та неоднаковою доступністю мікроелемента із різних хімічних сполук.

Аналіз доступних літературних джерел показує, що опублікованих даних стосовно накопичення селену у м'язовій тканині водоплавної птиці надто мало. Є повідомлення, що при вмісті селену в раціоні каченят 0,44 мг/кг рівень його у грудних м'язах становив 14,8 мкг/%, а у стегнових – 13,9 мкг/% (Kricova et. al., 2003). В іншій роботі (Sobolev, 2012) автор твердить, що при введенні селену до складу комбікормів для каченят у дозі 0,4 мг/кг концентрація його у грудних м'язах дорівнювала 9,0 мкг/%, а у стегнових – 12,8 мкг/%. Водночас, у каченят, вирощених на селенодефіцитному раціоні, вміст селену в м'язах грудей та ніг становив, відповідно, 5,6 та 7,3 мкг/%.

У дослідженнях на 75-денних гусенятах установлено, що в грудних м'язах молодняку, який не отримував добавок селену, його містилося 13,1 мкг/%, а у м'язах ніг – 11,5 мкг/%. Концентрація мікроелемента в м'язах гусенят, які одержували його додатково 0,4 та 0,5 мг/кг, підвищилася і становила відповідно: у грудних – 17,7 та 18,2 мкг/%, у стегнових – 18,1 та 18,4 мкг/%. У м'язах грудей та ніг гусенят, яким у комбікорми вводили (Sobolev, 2012).

За відсутності селенових добавок у кормі, накопичення мікроелемента в яйці різних видів птиці може варіювати від 2 мкг (у перепела) до 580 мкг (у страуса) (Golubkina et. al., 2006). У звичайному курячому яйці загальна кількість селену коливається від 2,6 (Paton et. al., 2002) до 11,7 мкг (Kruk et. al., 2007). Уведення селеновмісних препаратів у раціони птиці сприяє підвищенню концентрації селену в усіх складових частинах яйця, але ефективність препаратів виявляється різною. При використанні селеніту натрію вміст селену в курячому яйці зазвичай не перевищує 10–15 мкг (Golubkina et. al., 2003). Яйця від курей, яким згодовували комбікорми, збагачені органічною формою селену, можуть містити 20–25 мкг селену і більше (Bennett et. al., 2010; Mangutova, 2006). Відмічено, що вміст селену в яйцях з віком птиці не змінюється (Fisinin et. al., 2009).

Загальною закономірністю для всіх видів птиці є те, що вміст селену в яйці знижується у такій послідовності: жовток > білок > шкаралупа > підшкаралупна оболонка (Surai et. al., 2003).

При включенні селену до складу раціонів концентрація його в білку яйця досягала максимуму на 7-й день, а потім залишалася без змін. У жовтку рівень мікроелемента не був стабільним протягом 14-ти днів. Крім того, виявлено, що введення селену в комбікорми для курей у вигляді селенометіоніну (SeMet) призвело до підвищеного відкладання його у білку яйця, а при введенні у вигляді селеноцистину (SeCys) та селеніту натрію – у жовтку (Surai et. al., 2008). Здатність птиці створювати запаси селену в тканинах і органах лімітована. Якщо фізіологічно необхідні запаси перевищують норму, то надлишок селену, що надходить, виводиться в короткий термін (Suchý et. al., 2014).

Таким чином, величина відкладання селену в м'ясі та яйцях птиці залежить від його вмісту в раціоні, форми препарату та тривалості введення в комбікорми. Крім того, суттєву роль в акумуляції селену відіграють видові та породні особливості птиці, які зумовлені, напевно, генетичними та фізіологічними факторами.

## Біологічна роль селену в організмі та селеновий статус населення

Наведені дані щодо нагромадження селену в органах і тканинах різних видів сільськогосподарської птиці дають підставу припустити, що селен, знаходячись у біологічному ланцюзі корм – птиця – продукція, може здійснювати вплив і на людину. Селен, який в малих надходить в організм людини з продуктами харчування та водою, виконує унікальні багатопланові функції – каталітичну, структурну, регуляторну, – в процесі здійснення яких він взаємодіє з ферментами, білками, вітамінами, мікроелементами та біологічними мембранами. Селен бере участь в окисно-відновних реакціях, причетних до імуногенезу, сперматогенезу та гормонопоезу, відіграє певну роль у передачі фотосигналів сітчатці ока (перетворює світову енергію в електричну), є канцеростатичним агентом. Підтверджена здатність селену знижувати токсичність важких металів. Біохімічні функції селену визначаються не самим мікроелементом, а селенопротеїнами, які містять селеноцистеїновий залишок як невід'ємну частину їх активного центру. На сьогодні виділено та ідентифіковано в чистому вигляді більше 30-ти таких специфічних селенопротеїнів, але біологічна роль відома тільки 15-ти, серед них, чотири типи глутатіонпероксидази: класична цитозольна (GSH-Px1), шлунково-кишкова (GSH-Px2), плазмозна (GSH-Px3) та фосфоліпідна гідропероксидна (GSH-Px4); тіоредоксинредуктаза (TrxR), яка має різні ізоформи: цитоплазматичну та дві мітохондріальні; селенопротеїн Р (SelP); селенопротеїн W (SelW); селенопротеїн – метіонін-сульфоксид-редуктаза В (MSR<sub>B</sub>); 5-йодотиронін дейодиназа (ID), яка має три типи – I, II і III (Suzuki et. al., 2005).

Сьогодні більшість населення планети (за винятком деяких регіонів) споживає селену менше, ніж потрібно. Недостатнє надходження селену в організм людини (менше 15–30 мкг/доб.) призводить до розвитку одного із гіпомікроелементозів – гіпоселенозу.

Із дефіцитом селену пов'язані близько 75 різних захворювань та больових симптомів (Rayman, 2012). Дефіцит селену розглядається як можливий етіологічний фактор 14 серцево-судинних захворювань, серед яких дисталіційна кардіоміопатія (хвороба Кешана), атеросклероз, ішемічна хвороба серця, інфаркт міокарда, артеріальна гіпертензія та ін. (Venstoem et. al., 2015). Деякі вчені пов'язують хворобу Кашина-Бека (Уровську хворобу) з глибоким дефіцитом селену у ґрунтах, рослинах, продуктах харчування. Це тяжке кістково-суглобове захворювання людини (уражує переважно дітей), розповсюджене у південно-східних районах Читинської області, Північної Кореї, північно-східному Китаї (Ermakov, 2004; Yao et. al., 2011).

Встановлено обернений зв'язок між частотою захворювання людей на рак і вмістом селену в продуктах харчування, в організмі та навколишньому середовищі. У регіонах з низьким умістом селену значно вищий ризик виникнення злоякісних новоутворень легень, шлунка, товстого відділу кишечника, прямої кишки, підшлункової залози, печінки, молочної залози, простати (Cai et. al., 2016; Roman et. al., 2014; Zachara et. al., 2005). Клінічні та експериментальні дослідження показали, що в патогенезі таких захворювань, як катаракта та фіброзний кістоз підшлункової залози лежить дефіцит ряду елементів, зокрема селену (Kumara et. al., 2014).

Не можна твердити, що дефіцит селену є причиною хронічного гепатиту чи ревматоїдного артриту, проте тяжкість перебігу цих хвороб залежить від концентрації елемента в організмі (Khan et. al., 2012; Hadjigogos, 2003; Loniewski, 2004).

Велике значення надається забезпеченості організму селеном при профілактиці нейродегенеративних захворювань (хвороба Альцгеймера, хвороба Паркінсона) (Pillai et. al., 2014; Loef et. al., 2011).

У людей із низьким селеновим статусом порушується відтворювальна функція, що може призвести до безпліддя та імпотенції, скорочується тривалість життя через передчасне старіння (Akinloye et. al., 2005; Oguntibeju et. al., 2009). Сьогодні вже доведено, що в основі синдрому "раптової" дитячої смертності лежить дефіцит селену та вітаміну Е (Reid, 2007). Звертає на себе увагу той факт, що симптоматика захворювань, спричинених недостатнім надходженням селену в організм людини, досить різноманітна, а перелік хвороб ще далеко не повний.

Аналіз фактичного споживання населенням селену з продуктами рослинництва й тваринництва свідчить про недостатній (або навіть низький) рівень забезпеченості організму цим мікроелементом. Середньодобове споживання селену людиною сильно варіює: від 10 мкг – у селенодефіцитних регіонах до 1400 мкг – у регіонах селенозів. Значна кількість країн світу характеризується помірними та низькими показниками споживання селену, а високі значення цього показника (від 200 мкг/доб. і вище) встановлені лише в таких країнах, як Канада, Венесуела, Філіппіни, Таїланд, Японія (Mishanin, 2008). У багатьох країнах світу рівень споживання селену з продуктами харчування залишається низьким, мкг/доб.: Нова Гвінея – 20; Непал – 23; Індія – 27; Єгипет – 29; Бельгія, Сербія, Словенія – 30; Туреччина – 32; Англія, Іспанія, Словаччина – 35; Швеція, Франція, Португалія – 38; Німеччина, Італія – 43; Австрія – 48. Дослідження показують, що з кожним роком споживання селену знижується (Surai, 2006).

Добова норма споживання людиною селену, рекомендована експертами ФАО/ВОЗ, становить 50–200 мкг і оцінюється як достатня та безпечна. Мінімальна потреба людини в селені за одними оцінками становить 14 мкг/доб. для жінок і 19 мкг/доб. для чоловіків (Yang et. al., 1987), за іншими – 40 мкг/доб. (Whanger, 1998). Верхній допустимий (безпечний) рівень споживання селену досягає 400 мкг/доб. У світі прийнята максимально допустима доза добового споживання мікроелемента, яка становить 800 мкг (Fairweather-Tait et. al., 2011; Huang et. al., 2013).

У ряді країн існують розроблені рекомендовані норми споживання селену, а саме (мкг/доб.): Великобританія – 75 (чоловіки) і 60 (жінки); Австралія – 85 (чоловіки) і 70 (жінки) (Tinggi, 2003); Північні країни – 30–60 (дорослі); Німеччина, Австрія, Швейцарія – 70 (чоловіки) і 60 (жінки) (Kipp et. al., 2015); Канада – 50 (дорослі) (Rayman, 2000); США – 55 (дорослі) (Levander, 1999); Росія – 63 (дорослі) (Tutel'jan, 2009); Білорусь – 70 (дорослі) (Zajsev et. al., 2005); Україна – 70 (дорослі) (Normy, 1999); Фінляндія – 120 (дорослі) (Alfthan et. al., 2005). Екстраполяція вказаних величин з урахуванням ваги тіла дітей та підлітків дозволяє розрахувати їхню фізіологічну потребу в селені.

Існує декілька шляхів корекції селенового статусу населення: споживання селену у вигляді лікарських форм або БАД, виробництво збагаченого селеном хліба (переважно із імпортованого зерна), вирощування зелені та овочів, багатих на селен (кріп, редис, часник та ін.), збагачення селеном напоїв, виробництво продуктів тваринного походження, збагачених селеном (Gorelikova, 2008). Найбільш безпечно й ефективно може бути здійснено підтримання необхідного для організму людини рівня селену тільки через продукти птахівництва і тваринництва, шляхом обов'язкового введення у корми преміксів, які містять високоефективні біологічно доступні форми селену. Це забезпечить відносно високий рівень мікроелемента в м'ясі та дієтичних продуктах (яйцях і молоці) і виключить випадки токсикозів у населення завдяки буферному ефекту тваринних тканин (Melnychuk et. al., 2008). Водночас такий підхід сприятиме підвищенню продуктивних якостей сільськогосподарських тварин і птиці.

## Висновки

Узагальнивши наукові дані літературних джерел, ми встановили, що в Україні до цього часу не проводився у різних регіонах комплексний еколого-токсикологічний аналіз рівнів та закономірностей міграції селену в системі: вода – ґрунт – рослина – птиця – продукція – людина. Існуючі з цієї проблеми матеріали досліджень мають поодинокий характер, неповні та потребують систематизації та уточнення.

Як впливає з викладеного вище, за виявленими концентраціями селену в природних водах і ґрунтах, територію України можна віднести до селенодефіцитних біогеохімічних провінцій. Проведений вітчизняними вченими моніторинг умісту селену в кормах, у т.ч. й концентрованих, виявив його дефіцит, що засвідчує необхідність включення цього мікроелемента в комбікорми для птиці. Також недостатньою є кількість публікацій щодо можливості корекції селенового статусу населення України за допомогою продукції птахівництва, яка збагачена селеном.

## References

- Akinloye, O., Arowojolu, A. O., Shittu, O. B. Adejuwon, C.A., Osotimehin B. (2005). Selenium status of idiopathic infertile Nigerian males. *Biological Trace Element Research*, 104, 9–18.
- Alfthan, G., Aro, A. (2005). Environmental effects of selenium fertilization – Is there a potential risk? *Proc. "Twenty Years of selenium Fertilization Is Here a potencial risk?"*, 33–35.
- Anke, M. A. Regiusne, M. A., Gundel, J. (2003). Szelen szerepe es elofordulasa a tapialeklancban (Noveny – Allat – Ember). *Allattenyeztes es Takarmanyozas*, 52(3), 255–276.
- Arner, E. S. J. (2012). History of Selenium Research. *Selenium : Its Molecular Biology and Role in Human Health*, 1–19.
- Bardov, V. G., Moskalenko, V. F., Javorovs'kyj, O. P., Parpal'ej, I. O., Omel'chuk, S. T., Stepanenko, G. P., Suchkov, B. P., Cyprijan, V. I., Garkavyj, S. I., Berzin', V. I., Shevchenko, A. M., Shvajko, I. I., Bojko, M. I., Uzhva, N. F., Anisimov, Je. M., Chernova, O. I., Pel'o, I. M., Tkachenko, S. M., Zinchenko, T. I., Rashyn, V. M., Merezhkina, N. V., Grynzovs'kyj, A. M., Voronenko, Ju. V., Prodanchuk, M. G., Sergeta, I. V., Dacenko, I. I., Fedorenko V. I., Derkachov, E. A., Bilec'ka, E. M., Chub, L. S., Zemljakova, T. D., Denysenko, E. M., Cuckov, V. E., Antonova, O. V., Voroncov, M. P. (2005). Zagal'na gigijena ta ekologija ljudyny. Kyi'v (in Ukrainian).

- Bennett, D. C., Cheng, K. M. (2010). Selenium enrichment of table eggs. *Poultry Science*, 89(10), 2166–2172.
- Benstoem, C., Goetzenich, A., Kraemer, S., Borosch, S., Manzanares, W., Hardy, G., Stoppe, C. (2015). Selenium and Its Supplementation in Cardiovascular Disease –What do We Know? *Nutrients*, 7(5), 3094–3118.
- Bertechini, A. G., Silva, V. A., Figueiredo, F. M., Oliveira, T. F. B. (2015). Egg and poultry meat enrichment of selenium. *Global Advances in Selenium Research from Theory to Application Proceedings of the 4th International Conference on Selenium in the Environment and Human Health*, 169–170.
- Cai, X., Wang, C., Yu, W., Fan, W., Wang, S., Shen, N., Wu, P., Li, X., Wang, F. (2016). Selenium Exposure and Cancer Risk: an Updated Meta-analysis and Meta-regression. *Scientific Reports*, 6, 19213.
- Combs, G. F. Jr. (2001). Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, 85, 517–547.
- Djachenko, L. S., Sivik, T. L. (2008). Selen u kormah Ukraïni. *Segodnja dlja zavtra*, 2, 20–22 (in Ukrainian).
- Ermakov, V. V. (1995). Biogeoхимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка. *Osnovnye napravlenija geohimii*, 183–196 (in Russian).
- Ermakov, V. V. (2004). Biogeoхимия селена и его значение в профилактике эндемических заболеваний человека. *Vestnik otdelenija nauk o zemle RAN*, 1, 1–17 (in Russian).
- Ermakov, V. V. (2004). Urov Kashin-Beck disease: biogeochemical aspects. *Trace Elements in Experimental Medicine*, 17(4), 230.
- Ermakov, V. V. (2006). Puti preodolenija nedostatochnosti селена. *Selekor. Biologicheskoe dejstvie*, 198–203 (in Russian).
- Fairweather-Tait, S. J., Bao, Y., Broadley, M. R., Collings, R., Ford, D., Hesketh, J. E., Hurst, R. (2011). Selenium in human health and disease. *Antioxid Redox Signal*, 14(7), 1337–1383.
- Fisinin, V. I., Papazyan, T. T., Surai, P. F. (2009). Producing selenium-enriched eggs and meat to improve the selenium status of the general population. *Crit Rev Biotechnol*, 29(1), 18–28.
- Galeas, M. L., Zhang, L. H., Freeman, J. L., Wegner, M., Pilon-Smits, E. A. H. (2007). Seasonal fluctuations of selenium and sulfur accumulations in selenium hyperaccumulators and related nonaccumulators. *New Phytologist*, 173(3), 517–525.
- Gonockij, V. A., Fedina, L. P., Dubrovskaja, V. I., Gonockaja, V. A., Golubkina, N. A. (2002). Produkty profilaktičeskogo naznachenija s povyšennym soderžaniem селена. *Ptica i ejo pererabotka*, 2, 28–31 (in Russian).
- Glinka, N. L., Ermakov, A. I. (2009). *Obshhaja himija*. Integral-Press, Moskva (in Russian).
- Golubkina N. A. (1998). Vlijanie geohimicheskogo faktora na nakoplenie селена zernovymi kul'turami i sel'skohozjajstvennymi zhivotnymi v uslovijah Rossii, stran SNG i Baltii. *Problemy regional'noj jekologii*, 4, 53–59 (in Russian).
- Golubkina, N. A. (2006). Problemy obespechennosti selenom naselenija Rossii. *Selekor. Biologicheskoe dejstvie*, 19–23 (in Russian).
- Golubkina, N. A., Hotimchenko, S. A., Gonockij, V. A. (2003). Specifika nakoplenija селена v kurinyh i perepelinyh jajcah. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyra*, 11, 69–72 (in Russian).
- Golubkina, N. A., Papazjan, T. T. (2006). Selen v pitanii: rastenija, zhivotnye, chelovek. *Pechatnyj gorod, Moskva* (in Russian). (in Russian)
- Golubkina, N. A., Korchina, T. Ja., Merkulova, N. N., Pesin, S. A. (2004). Obespechennost' selenom zhitelej g. Surguta Tjumenskoj oblasti. *Jekologičeskie sistemy i pribory*, 3, 48–57 (in Russian).
- Golubkina, N. A., Skal'nyj, A. V., Sokolov, Ja. A., Shhelkunov, L. F. (2002). Selen v medicine i jekologii. *KMK, Moskva* (in Russian).
- Gorelikova, G. A. (2008). Teoreticheskie i praktičeskie aspekty razrabotki pishhevyh produktov, obogashhjonnyh selenom. *KemTIPP, Kemerovo* (in Russian).
- Grinvud, N., Jernsho, A. (2008). Himija jelementov. *BINOM, Laboratorija znanij, Moskva* (in Russian).
- Gromova, O. A., Gogoleva, I. V. (2007). Selen – vpečatljajushhie itogi i perspektivy primenenija. *Trudnyj pacient*, 5(14), 25–30 (in Russian).
- Gupta Umesh, C. Subhas Gupta, C. (2000). Selenium in soils and crops, its deficiencies in livestock and humans: Implications for management. *Communications in soil science and plant analysis*, 31(11–14), 1791–1807.
- Hadjigogos, K. (2003). The role of free radicals in the pathogenesis of rheumatoid arthritis. *Panminerva Medica*, 45, 7–13.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., Fujita, M. (2010). Selenium in Higher Plants: Physiological Role, Antioxidant Metabolism and Abiotic Stress Tolerance. *Journal of Plant Sciences*, 5 (4), 354–375.
- Huang, Y., Wang, Q., Gao, J., Lin, Z., Banuelos, Gary S., Yuan, L., Yin, X. (2013). Daily Dietary Selenium Intake in a High Selenium Area of Enshi, China. *Nutrients*, 5, 700–710.
- Ibatullin, I. I., Veshyc'kyj, V. A., Otchenashko, V. V. (2004). Vykorystannja selenu v roslynnyctvi ta tvarynnyctvi. *Feniks, Kyi'v* (in Ukrainian).
- Ivahnik, G. V. (2008). Selen i vitamin E v kombikormah dlja jaichnyh kur. *Efektivni kormy ta godivlja*, 2, 20–24 (in Russian).
- Janchev, V. K., Sulejmanov, S. P., L'vovich, K. Ju. (2004). Monitoring селена v tehnogennyh i prirodnyh vodah v srede vokrug Luganskoj oblasti. *Jekologija okružhajushhej srody stran SNG*, 3, 84–88 (in Russian).
- Japparov, I. A., Rodionova, T. N. (2006). Vlijanie селена na pokazateli selenovogo obmena u cypljat-brojlerov. *Zootehnika*, 9, 18–19 (in Ukrainian).
- Kabata-Pendias A., Mukherjee, B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Kapital'chuk, M. V., Golubkina, N. A. (2008). Bioakkumuljacija селена rastenijami na razlichnyh tipah pochv Moldovy. *Agro HHI*, 4–6, 81–83 (in Russian).
- Kapital'chuk, M. V., Kapital'chuk, I. P., Golubkina, N. A. (2011). Akkumuljacija i migracija селена v komponentah biogeoхимической цепи почва – растенія – человек v uslovijah Moldavii. *Povolzhskij jekologičeskij zhurnal*, 3, 323–335 (in Russian).
- Karnauhov, O. I., Mel'nychuk, D. O., Chebot'ko, K. O., Kopilevyh, V. A. (2003). *Zagal'na ta bioneorganichna himija*. Nova Knyga, Vinnycja (in Ukrainian).



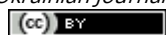
- Khan, M. S., Dilawar, S., Ali, I., Rauf, N. (2012). The possible role of selenium concentration in hepatitis B and C patients. *Saudi Journal Gastroenterol*, 18, 106–110.
- Kipp, A. P., Strohm, D., Brigelius-Flohea, R., Schomburg, L., Bechthold, A., Leschik-Bonnet, E., Hesecker, H. (2015). Revised reference values for selenium intake. *Trace Elements in Medicine and Biology*, 32, 195–199.
- Kiriljuk, V. P. (2006). Mikroelementy v komponentah biosfery Moldovy. Pontos, Kishinev (in Russian).
- Kricova, S., Boldizarova, K., Gresakova, L., Bobcek, R., Levkut, M., Leng, L. (2003). Chicken selenium status when fed a diet supplemented with Se-yeast. *Acta Veterinaria*, 72, 339–346.
- Kruk, Ju., Svezhencov, A. I., Musich, O. I. (2007). Jeftektivnost' sel-pleksa v kombikormah dlja kur-nesushek. *Ptahivnyctvo*, 60(2), 116–119.
- Kumara, B. S., Priyadarsinib, K. I. (2014). Selenium nutrition : How important is it? *Biomedicine Preventive Nutrition*, 4(2), 333–341.
- Levander, O. A. (1999). Developing human dietary recommendations of selenium. *Proceeding the Alvin Lloyd Moxon Honorary Lectures on Selenium and Vitamin E*, 100–110.
- Loef, M., Schrauzer, G. N., Walach, H. (2011). Selenium and Alzheimer's disease: a systematic review. *Alzheimers Disease*, 26(1), 81–104.
- Loniewski, I. (2004). Selen–ein essentiells spurenelement in der Therapie rheumatoiden Arthritis. *SANUM-Post*, 69, 22–24.
- Mangutova, E. V., Bubeev, I. T., Zhamsaranova, S. D. (2006). Nakoplenie biodostupnogo selena v jajchah kur, poluchavshih selenosoderzhashhie biologicheski aktivnye dobavki. *Himija i biologicheski aktivnye prirodnye soedinenija*, 26–28 (in Russian).
- Mehdi, Y., Hornick, Jean-Luc, Istasse, L., Dufresne, I. (2013). Selenium in the Environment, Metabolism and Involvement in Body Functions. *Molecules*, 18, 3292–3311.
- Mal'gin, M. A., Puzanov, A. V., Majmanova, T. M. (2000). Selen v osnovnyh komponentah okružhajushhej sredy Altaja. *Himija v interesah ustojchivogo razvitija*, 8(6), 837–843 (in Russian).
- Melnichuk, S. D., Surai, P. F. (2008). Selenium status in Ukraine: food for thoughts. *Current advances in selenium research and applications*, 57–73.
- Mishanin, Ju. F. (2008). Vzaimosvjaz' selena v biologicheskoj cepi: pochva – rastenie – zhivotnye – produkcija – chelovek. *Perspektivnye biotehnologii pererabotki sel'skohozjajstvennogo syr'ja*, 135–137 (in Russian).
- Mojseenok A. G., Muroh V. Y., Tarasov Ju. A. (2006). Preduprezhdenye nedostatka selena v pytanij (k programme sojuznogo gosudarstva Rossyja – Belarus'). *Selektor. Byologičeskoe dejstvie*, 24–35 (in Russian).
- Muroh, V. I. (2006). Sbalansirovannoe pitanie – osnova profilaktiki neinfekcionnyh zaboŭlevanij. *Selektor. Biologičeskoe dejstvie*, 8–18 (in Russian).
- Normy fiziologičnyh potreb naselennja Ukrai'ny v osnovnyh harchovyh rečovynah ta energij' (1999). Kyi'v (in Ukrainian).
- Oguntibeju, O. O., Esterhuysen, J. S., Truter, E. J. (2009). Selenium: its potential role in male infertility. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 25(2), 332–337.
- Papazjan, T. T., Golubkina, N. A. (2006) Selen v kormah sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh, pticy, ryby. *Vestnik RASHN*, 2, 64–66 (in Russian).
- Papazjan, T., Golubkina N. (2008). Selen v kormah sel'skohozjajstvennoj pticy. *Pticevodstvo*, 10, 45–46 (in Russian).
- Paton, N. D., Cantor, A. N., Pescatore, A. J. (2002). The effects of dietary selenium source and level on the uptake of selenium by developing chick embryos. *Poultry Science*, 81, 1548–1554.
- Perel'man, A. I. (2016). Geohimija: uchebnoe posobie dlja geologičeskikh special'nostej universitetov. Lenand, Moskva (in Russian).
- Perepjolkina, L. I. (2007). Korrekcija deficita selena u kur. *Zootehnika*, 12, 17–18 (in Russian).
- Petrovic, V., Boldizarova, K., Faix, S., Mellen, M., Arpasova, H., Leng, L. (2006). Antioxidant and selenium status of laying hens fed with diets supplemented with selenite or Se-yeast. *Animal Feed Science and Technology*, 15(3), 435–444.
- Pillai, R., Uyehara-Lock, J. H., Bellinger, F. P. (2014). Selenium and Selenoprotein Function in Brain Disorders. *IUBMB Life*, 66(4), 229–308.
- Ponomarenko, Ju. (2007). Selen i jod v racjonah brojlerov. *Pticevodstvo*, 4, 38–39 (in Russian).
- Popenko, E. S. (2015). Osoblyvosti rozpodilu selenu u roslynnosti riznyh klimatychnykh zon. *Poshukova ta ekologična geohimija*, 1, 23–26 (in Ukrainian).
- Popenko, E. S., Samchuk, A. I., Ogar, T. V., Krasjuk O. P. (2012). Osoblyvosti rozpodilu vazhkykh metaliv ta selenu u g'runtah Pivdenno-Prysyvas'koi' akumuljatyvnoi' rivnyni (Ukrai'na). *Geohimija ta rudoutvorenija*, 31–32, 170–174 (in Ukrainian).
- Prashanth, L., Kattapagari, K. K., Chitturi R. T., Baddam, V. R. R., Prasad, L. K. (2015). A review on role of essential trace elements in health and disease. *NTR University of Health Sciences*, 4, 75–85.
- Ralston, N. V. C., Unrine, J., Wallschläger, D. (2009). *Biogeochemistry and analysis of selenium and its species*. Washington.
- Rassolov, S. N., Glazunova, O. A., Eranov, A. M. (2008). Vlijanie selena i joda na himičeskij sostav mjasa sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh i pticy, poluchavshih mikrodoŭavki selena i joda. *Kormlenie sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo*, 10, 67–70 (in Russian).
- Rayman, M. P. (2000). The importance of selenium to human health. *Lancet*, 366, 233–241.
- Rayman, M. P. (2012). Selenium and human health. *Lancet*, 379, 1256–1268.
- Reid, G. M. (2007). Sudden infant death syndrome: selenium administered above dietary needs stabilizes the electrocardiograms of subjects deprived of exercise stimuli to the brain. *Medical Hypotheses*, 68(6), 1265–1267.
- Reilly, C. (2006). *Selenium in Food and Health*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Roman, M., Jitaru, P., Barbante, C. (2014). Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics*, 6(1), 25–54.

- Rudenko, S. S., Dmitruk, B. M. (1999). Selen u gruntakh Bukovini. *Visnik agrarnoi nauki*, 7, 50–54 (in Ukrainian).
- Schrauzer, G. N. (2003). The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. *Advances in Food Nutrition Research*, 47, 73–112.
- Schrauzer, G. N., Surai, P. F. (2009). Selenium in human and animal nutrition: Resolved and unresolved issues. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29(1), 2–9.
- Shevchenko, S. A. (2006). Nakoplenie selena v jajcakh i mjase kur-nesushek pri razlichnom sodержanii ego v racione. *Sibirskij vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki*, 5, 96 (in Russian).
- Shhelkunov, L. F., Dudkin, M. S., Golubkina, N. A. (2001). Biogehimija mikrojelementa selena v Odesskom regione Ukrainy. *Dovkillja ta zdorov'ja*, 3, 20–24 (in Russian).
- Shljapunova, E. V., Sergeev, G. M. (2010). Ekologicheskij monitoring: analiz i identifikacionnye priznaki prirodnyh pityevyh vod. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 1, 116–121 (in Russian).
- Shtele, A. (2010). Obogashhenie jaic biojelementami. *Veterinarija sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh*, 1, 4–8 (in Russian).
- Sobolev, A. I. (2012). Vlijanie dobavok selena v kombikorma na kachestvo gusinogo mjasa. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 4, 113–115 (in Russian).
- Sobolev, A. I. (2012). Vlijanie dobavok selena v kombikorma na kachestvo mjasa utjat. *Vestnik APK Stavropol'ja*, 4, 37–41 (in Russian).
- Sobolev, A. I. (2013). Kachestvo mjasa cypljat-brojlerov pri ispol'zovanii dobavok selena v sostave kombikormov. *Agrarnyj Vestnik Verhnevolzh'ja*, 2, 35–39 (in Russian).
- Sobolev, A. I. (2013). Soderzhanie selena v mjase molodnjaka raznyh vidov sel'skohozjajstvennoj pticy v zavisimosti ot ego urovnja v kombikormah. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*, 1, 62–63 (in Russian).
- Sobolev, A. I., Povochnikov, N. G. (2016). Soderzhanie selena v kombikormah dlja molodnjaka sel'skohozjajstvennoj pticy mjasnogo napravlenija produktivnosti. *AgroAlem*, 1, 36–39 (in Russian).
- Suchy, P., Strakova, E., Herzig, I. (2014). Selenium in poultry nutrition: a review. *Czech Journal of Animal Science*, 59(11), 495–503.
- Surai, P. F. (2002). Selenium in poultry nutrition: a new look at an old element. 2. Reproduction eggs and meat quality and practical applications. *World's Poultry Science*, 58, 431–450.
- Surai, P. F., Dvorskaja, Ju. E. (2003). Organicheskij selen i ego rol' v kormlenii matochnogo pogolov'ja kur. *Ptahivnictvo*, 53, 324–329 (in Russian).
- Surai, P. F. (2006). Selenium in nutrition and health. University Press, Nottingham.
- Surai, P. F., Taylor-Pickar, J. A. (2008). Current advances in selenium research and applications. Wageningen Academic Publishers. Netherlands.
- Surai, P. F. (2007). Ispol'zovanie "Sel-Plekса" dlja uluchshenija zdorov'ja zhivotnyh i ljudej. *Efektivne ptahivnictvo*, 2, 25–28 (in Russian).
- Suzuki, K. T., Kurasaki, K, Okazaki, N, Ogra, Y. (2005). Selenosugar and trimethylselenonium among urinary Se metabolites: dose- and age-related changes. *Toxicol Appl Pharmacol*, 206(1), 1–8.
- Tan, J., Zhu, W., Wang, W., Li, R., Hou, S., Wang, D., Yang, L. (2002). Selenium in soil and endemic diseases in China. *Science of the Total Environment*, 284, 227–235.
- Tapiero, H, Townsend, D. M, Tew, K. D. (2003). The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. *Biomed Pharmacother*, 57(3–4), 134–144.
- Tinggi, U. (2003). Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. *Toxicology Letters*, 137, 103–110.
- Tishenkov, A. N., Grineva Je. V., Chernoshhokov E. G. Mel'nikova, S. V., Shevjakov, A. N. (2006). Selen v racionah brojlerov. *Sbornik nauchnyh trudov VNITIP*, 81, 80–90 (in Russian).
- Tutel'jan, V. A. (2009). O normah fiziologicheskikh potrebnostej v jenerгии i pishhevyyh veshhestvah dlja razlichnyh grupp naselenija Rossijskoj Federacii. *Voprosy pitanija*, 78(1), 4–15 (in Russian).
- Whanger, P. D. (1998). Metabolism of selenium in humans. *Trace Element in Experimental Medicine*, 11, 227–240.
- World Health Organization. (2011). Selenium in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO Press, Geneva.
- Yang, G. Q., Qian, P. C., Zhu, L. Z. (1987). Human. Selenium requirements in China. *Selenium in Biology and Medicine*, 589–607.
- Yao, Y., Pei, F., Kang, P. (2011). Selenium, iodine, and the relation with Kashin-Beck disease. *Nutrition*, 27(11–12), 1095–1100.
- Zachara, B. A., Szweczyk-Gole, K., Tyloch, J., Wolski, Z., Szyberg, T., Stepien, S., Kwiatkowski, S., Bloch-Boguslawska, E., Wasowicz, W. (2005). Blood and tissue selenium concentrations and glutathione peroxidase activities in patients with prostate cancer and benign prostate hyperplasia. *Neoplasma*, 52, 248–254.
- Zajcev, V. A., But'ko, Z. T., Zastenskaja, I. A., Mohort E. G. (2005). Ocenka i korekcija selenovogo statusa organizma cheloveka v razlichnyh jekologicheskikh uslovijah prozhivanija. *Minsk* (in Russian).

---

**Citation:**

Sobolev, A. (2017). Distribution of Selenium in soil-water system and plant-poultry-human food chain: a review. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(2), 191–200.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License