

---

# THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE

---

---



V. I. Chorna ✉

Dr. Sci. (Biol.), Professor

I. V. Wagner

N. V. Voroshylova

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

UDK 631.416.3

---

*Dniprovsk State Agrarian and Economic University,  
str. Serhiy Yefremov, 25, Dnipro, Ukraine, 49000*

---

## ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL JUSTIFICATION OF IMPORTANCE OF SILICON COMPOUNDS IN SOIL-PLANT SYSTEM

**Abstract.** Agroecosystems formed on reclaimed lands mostly have no ecological stability and high agrophytocenose productivity. Wide amplitude of annual and zonal variations in cultivar yields is typical for such ecosystems due to low adaptability of «agrocenose-ecotope» system. Agroecological justification for possibility of economic use of artificial edaphotopes is relevant in agricultural development of disturbed land, since such edaphotopes are most adapted to the specific and climatic conditions of the Southern steppe in Ukraine. Despite the widespread occurrence of silicon and its compounds in nature, content of plant-available low molecular silicone compounds in soil is extremely low, whereas global crop removal of silicon reached 210 to 224 million tons per a year. Requirement on treatment the soil-plant system with available forms of silicon-containing fertilizers or substances that increase availability of soil silicon for plant is obvious. Processing of seed grain is one of the most cost-effective methods to increase agricultural crops production. Currently, biologically active compounds increasingly used along with conventional chemicals in diseases and pest management; such compounds contribute to plant growth stimulation, enhancing of plant resistance to adverse factors, increase the crop productivity, and improve yield class. Influence of active silicon compounds (0,6 % and 1,0 % SiO<sub>2</sub>) on intensity of growth processes for common barley at 7 days growing on the artificially created soil layered onto loess-like loam. Silicon is the biophilic element involved in many physiological and biochemical processes; it increases the yield and quality of plant products. In soil, the greater part of silicon is a part of slightly soluble compounds not available to plants. Content of extractable silicon compounds in the soil is quite low and does not exceed 150–200 mg SiO<sub>2</sub>/kg of soil. The most important link of biogeochemical cycle of silicon is intake and accumulation in plants and relationship of this process with the other biophilic elements nutrition. Content of silicon in plants comparable with content of major nutrient elements. Dry-weighted plants contain 1–2 % Si, and their ash contains 20 to 91 %. Silicon acid form soluble complexes with organic and inorganic ligands. Our work also established a relationship between the content of humus and total silicon. Correlation coefficient was 0,84 that characterized as high. The soil was sampled within the research areas of the Research Station of Land Recultivation, the Dniprovsk State Agrarian and Economic University (near Pokrov town, Dnipropetrovsk oblast). Index ratio of stem length to root length (*I* s/r) on common barley was calculated. It was established the trend of acceleration on linear stem and root growth while adding an active silicon. It was shown that common barley is an effective phytotester for disturbed soils. The study has established positive effect of silicon-containing compounds on the agricultural crop productivity.

**Key words:** soil reclamation, silicates, soil onto a loess-like loam, agricultural crops, growth processes intensity.

---

✉ Tel.: +38097-268-38-71, e-mail: khlyzina@ukr.net

DOI: 10.15421/041703

УДК 631.416.3

**В. И. Черная** д-р биол. наук, проф.  
**И. В. Вагнер**  
**Н. В. Ворошилова** канд. биол. наук, доц.

*Днепро́вский госуда́рственный аграрно-экономический университет,  
ул. Сергея Ефре́мова, 25, г. Днепр, Украина, 49000,  
тел.: +38097-268-38-71, e-mail: khlyzina@ukr.net*

### **ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РОЛИ КРЕМНИЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»**

**Аннотация.** Обработка семенного материала – один из наиболее экономически выгодных приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. В настоящее время наряду с препаратами, которые традиционно используются для борьбы с болезнями и вредителями, все чаще применяют биологически активные соединения, способные стимулировать рост растений, повышать их устойчивость к неблагоприятным факторам, увеличивать урожай и улучшать его качество. Исследовано влияние активных форм кремневых соединений (0,6 % и 1,0 % SiO<sub>2</sub>) на интенсивность ростовых процессов семисуточного ячменя на педоземах на лессовидном суглинке. Установлена тенденция усиления линейного роста стебля и корня при добавлении активных форм кремния. Показано, что ячмень является эффективным фитотестером для техногенно-нарушенных почв. Установлено положительное влияние кремнийсодержащих соединений на продуктивность сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** *рекультивация, силикаты, педозем на лессовидном суглинке, биомасса, сельскохозяйственные культуры, интенсивность ростовых процессов.*

УДК 631.416.3

**В. І. Чорна** д-р біол. наук, проф.  
**І. В. Вагнер**  
**Н. В. Ворошилова** канд. біол. наук, доц.

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
вул. Сергія Єфре́мова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000,  
тел.: +38097-268-38-71, e-mail: khlyzina@ukr.net*

### **ЕКОЛОГО-БИОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЛІ КРЕМНІЄВИХ СПОЛУК У СИСТЕМІ «ҐРУНТ – РОСЛИНА»**

**Анотація.** Обробка насіннєвого матеріалу – один з найбільш економічно вигідних прийомів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. У даний час поряд з препаратами, що традиційно використовуються для боротьби з хворобами та шкідниками, все частіше застосовують біологічно активні сполуки, здатні стимулювати ріст рослин, підвищувати їх стійкість до несприятливих факторів, збільшувати урожай і покращувати його якість. Досліджено вплив активних форм кремнієвих сполук (0,6 % та 1,0 % SiO<sub>2</sub>) на інтенсивність ростових процесів семидобового ячменю звичайного на педоземах на лесоподібному суглинку. Відбір зразків ґрунту проводився на дослідних ділянках науково-дослідного стаціонару з рекультивації земель Дніпровського державного аграрно-економічного університету (поблизу м. Покров Дніпропетровської області). За показниками довжини стебла та коренів ячменю звичайного розраховували індекс відношення довжини стебла до довжини кореня (І с/к). Установлено тенденцію посилення лінійного росту стебла та кореня при додаванні активних форм кремнію. Показано, що ячмінь звичайний є ефективним фітотестером для техногенно-порушених ґрунтів. Установлено позитивний вплив кремнієвмісних сполук на продуктивність сільськогосподарських культур.

**Ключові слова:** *рекультивация, силикаты, педозем на лесоподібному суглинку, біомаса, сільськогосподарські культури, інтенсивність ростових процесів.*

### **ВСТУП**

Проблема збереження і відтворення екологічного стану навколишнього природного середовища завжди була надзвичайно важливою для промислово

розвинених регіонів. Придніпровський регіон з його потужними хімічними та гірничо-металургійним комплексами і перевищуючою екологічну доцільність сільськогосподарською освоєністю територій, безумовно, є найбільш наглядним прикладом необхідності розв'язання проблем відновлення територій, що втратили стійкість та стабільність через антропогенне порушення структурно-функціональних зв'язків в екосистемах (Tarika, 2006). Проблема рекультивациі потребує глибокого теоретичного дослідження, прогнозування екологічних ситуацій, створення спеціальних безпечних технологій біологічної рекультивациі, техногенних ландшафтів. Сільськогосподарський напрямок біологічної рекультивациі обумовлює створення продуктивних агроєкосистем інтенсивного використання, які пред'являють високі вимоги до використання гірничо-технологічного етапу рекультивациі (форма рельєфу, якість підстиляючих гірських порід та родючого шару ґрунту, товщина насиченого шару ґрунту та ін.). Ученими наукової школи Бекаревича–Масюка в процесі наукових досліджень з рекультивациі розроблено загальнотеоретичні питання: теоретично-методологічне уявлення про родючість гірських порід і біогеоценотичну систему; моделювання штучних ґрунтово-екологічних структур у техногенних ландшафтах; спрямованість сучасного ґрунтоутворення в штучних едафотопях різних конструкцій; еколого-біологічне обґрунтування раціональних агроєкосистем на порушених територіях степової чорноземної зони; класифікація геологічних відкладів за ступенем придатності для біологічного освоєння; класифікація сільськогосподарських культур на еколого-трофічні групи з урахуванням їх біологічної продуктивності на гірських породах і на різних варіантах штучно створених ґрунтів (Tarika, 2006).

Сформовані на рекультивованих землях агроєкосистеми переважно не відзначаються екологічною стійкістю та високою продуктивністю агрофітоценозів. Для них характерна амплітуда річних та зональних коливань урожайності вирощуваних культур унаслідок низької адаптивності системи «агроценоз – екотоп».

При сільськогосподарському освоєнні порушених земель актуальним є агроєкологічне обґрунтування можливості господарського використання штучного едафотопу агрофітоценозів, які найбільш адаптовані до специфічних та кліматичних умов південного Степу України (Chorna, Vagner, 2015; DSTU 4138-2002).

Незважаючи на широку поширеність кремнію і його сполук у природі, вміст доступних для рослин низькомолекулярних кремнієвих кислот в ґрунті вкрай низький, при цьому щорічний винос кремнію з урожаєм у світі становить 210–224 млн т. Очевидною є необхідність внесення в систему «ґрунт – рослина» кремнієвмісних добрив у доступній формі або речовин, що сприяють підвищенню доступності ґрунтового кремнію для рослин (Matyichenkov, 2012).

Первинна акумуляція кремнію відбувається в кореневих епідермальних тканинах, причому корені рослин здатні концентрувати його з розбавлених розчинів. Оптимізація кремнієвого живлення рослин призводить до збільшення ваги коренів на 20–50 % їх обсягу, покращує кореневе дихання. Чим вища концентрація кремнію в рослині, тим більше сухої речовини утворюється на одиницю використаної води (Tsujimoto, Muranaka, Saito, Asai, 2014).

Метою досліджень є обґрунтування використання активних форм кремнію для підвищення врожаю сільськогосподарських культур на техногенно-порушених ґрунтах (на педоземах на лесоподібному суглинку), для відновлення їх якості та повернення в сільськогосподарське використання.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У даній роботі оцінено можливість покращення якості техногенно-порушених ґрунтів (з насипним шаром чорнозему південного на лесоподібному суглинку) за допомогою внесення кремнієвих сполук на прикладі вирощування ячменю звичайного (*Hordeum vulgare*). Дослідження якості техноземів проводили в науково-

дослідній лабораторії гідроекології Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Зразки відбирали на дослідних ділянках науково-дослідного стаціонару з рекультивації земель Дніпровського державного аграрно-економічного університету (м. Покров, Дніпропетровська обл.) (Demidov, Kobets, Gritsan, Zhukov., 2013; Matyichenkov, 2012; Tarika, 2006).

Обробка насіннєвого матеріалу – один з найбільш економічно вигідних прийомів підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. У даний час поряд з препаратами, що традиційно використовуються для боротьби з хворобами та шкідниками, все частіше застосовують біологічно активні сполуки, здатні стимулювати ріст рослин, підвищувати їх стійкість до несприятливих факторів, збільшувати урожай і покращувати його якість. Тест-об'єктом у запропонованій системі біотестів для визначення можливості підвищення якості техногенно-порушених ґрунтів стали вищі рослини, а саме ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*), оскільки продуктивність є найважливішим критерієм якості ґрунту та головною метою для повернення ґрунтів у сільськогосподарське використання.

Відбір проб проводили відповідно до ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» (DSTU 4138-2002). Контролювали вологість, температуру і вентиляцію в термостаті, термін визначення енергії проростання і схожість протягом 10 діб. У чашки Петрі поміщали 100 відкаліброваних насінин ячменю звичайного з додаванням витяжки з досліджуваних ґрунтів та розчинів метасилікату натрію. Температура та вологість повітря підтримувались у діапазоні 21–23 °С та 50–70 % відповідно. Для проведення дослідження були обрані 0,6- та 1%-ві розчини натрію метасилікату, що в перерахунку на SiO<sub>2</sub> відповідало 6 мг SiO<sub>2</sub>/10 мл H<sub>2</sub>O та 10 мг SiO<sub>2</sub>/10 мл H<sub>2</sub>O. Оцінку енергії проростання проводили через 3 доби. Збір зразків відбувався на 10-й день з вимірюванням довжини кореня і стебла. Усі отримані дані обробляли за допомогою програми STATISTIKA 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У попередніх роботах визначили, що вміст загального кремнію змінюється від 52 до 32 % з тенденцією зниження за глибиною (Chorna, Vagner, 2015), а кількість рухомих сполук кремнію коливається від 6,4 до 13,4 мг/100 г, що свідчить про високий дефіцит цього елемента. Енергія проростання фіксувалась на третю добу, у варіантах з водою, 0,1%-вим, 0,2%-вим розчинами Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> становила більше 80 %. У ячменя при додаванні 0,3%- та 0,4%-вих розчинів Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> енергія проростання зменшувалась до 65–70 %.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що педоземи на лесоподібному суглинку позитивно відреагували на внесення 0,6- та 1%-вих розчинів монокремнієвої кислоти: відношення довжини стебла до довжини кореня (далі – Lc/Lk) збільшилось на 20–33 % по відношенню до контролю. Відношення Lc/Lk ячменя звичайного (*Hordeum vulgare*) на контролі та ґрунтових витяжках з досліджуваних ґрунтів становило в середньому 1,15.

Рослина на техногенно-порушених ґрунтах, відчуваючи потребу в поживних елементах, реагує збільшенням довжини коренів, щоб була можливість за рахунок збільшення площі розповсюдження отримати потрібні елементи.

Кремній є біофільним елементом, який бере участь у ряді фізіологічних і біохімічних процесів і сприяє підвищенню врожаю та якості рослинної продукції. У ґрунті велика частина кремнію знаходиться в складі малорозчинних сполук, що недоступні рослинам. Вміст рухомих сполук кремнію в ґрунті досить низький і не перевищує 150–200 мг SiO<sub>2</sub>/ кг ґрунту (Biel, Matichenkov, Fomina, 2008). Найважливішою ланкою біогеохімічного кругообігу кремнію є надходження і накопичення його в рослинах, взаємозв'язок цього процесу з живленням іншими біофільними елементами. Вміст кремнію в рослинах можна порівняти з вмістом

основних макроелементів. У сухій масі рослин міститься 1–2 % Si, в їх золі – від 20 до 91 %. Кремнієва кислота може утворювати розчинні комплекси з органічними і неорганічними лігандами. У наших роботах також встановлена певна залежність між вмістом гумусу та загальним кремнієм. Коефіцієнт кореляції становить 0,84, що характеризується як високий (Chorna, Vagner, 2015).

**Відношення довжини стебла до довжини кореня ( $L_c / L_k$ ) від концентрації натрію метасилікату (П – педоземи на лесоподібному суглинку)**

| Варіант (V=10 мл)   | L стебла, см | L кореня, см | (L) стебла / (L) кореня | Коефіцієнт варіації (L) стебла | Коефіцієнт варіації (L) кореня | Відносна помилка вибірки стебла, % | Відносна помилка вибірки кореня, % |
|---|--------------|--------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Контроль H <sub>2</sub> O                                 | 8,58±2,13    | 7,26±1,73    | 1,18                    | 33,45                          | 30,58                          | 11,42                              | 11,35                              |
| 1%-вий розчин SiO <sub>2</sub>                            | 8,90±1,37    | 5,66±0,93    | 1,58                    | 22,13                          | 23,32                          | 7,42                               | 9,80                               |
| 0,6%-вий розчин SiO <sub>2</sub>                          | 7,39±1,34    | 6,99±1,26    | 1,06                    | 23,68                          | 23,32                          | 8,71                               | 8,82                               |
| 0–10 П  | 7,94±1,67    | 6,79±1,44    | 1,17                    | 28,84                          | 26,51                          | 10,24                              | 10,17                              |
| 10–20 П   | 9,02±1,52    | 7,66±1,29    | 1,18                    | 23,28                          | 22,32                          | 7,75                               | 8,07                               |
| 0–10 П+ 0,6%-вий розчин Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | 8,17±1,63    | 6,57±1,28    | 1,21                    | 26,19                          | 24,20                          | 9,16                               | 9,44                               |
| 10–20 П+ 0,6%-вий розчин Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 7,13±1,02    | 3,74±0,75    | 1,41                    | 18,79                          | 29,41                          | 7,04                               | 15,21                              |
| 0–10 П+ 1%-вий розчин Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>    | 9,23±2,15    | 7,24±1,91    | 1,32                    | 31,31                          | 32,73                          | 10,31                              | 12,17                              |
| 10–20 П+ 1%-вий розчин Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>   | 9,60±1,75    | 6,86±1,61    | 1,90                    | 24,27                          | 30,76                          | 7,83                               | 11,74                              |

Відомо, що рослини поглинають кремній через кореневу систему в формі мономерної ортокремнієвої кислоти, а також низькомолекулярної форми колоїдної кремнієвої кислоти та її ефіру. Кремній надходить у рослини у вигляді аніону кремнієвої кислоти (SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), молекул кислот Si(OH)<sub>3</sub>, Si(OH)<sub>4</sub>, різних ефірів. Крім того, кремній може поглинатися рослинами через листя у формі силікатів калію і натрію (Tarika, 2006).

Отже, встановлено, що педоземи на лесоподібному суглинку краще відреагували на внесення 0,6- та 1%-вого розчинів монокремнієвої кислоти: відношення довжини стебла до довжини кореня збільшилось на 16–81 % по відношенню до пророщування на воді, та на 3–61 % по відношенню до пророщування на ґрунтових витяжках. Ріст та розвиток рослин на перших етапах є важливою характеристикою в регуляції їх продуктивності та отримання високих урожаїв. Інтенсивність зростання стебла на ранніх етапах онтогенезу сприяє швидкому розвитку фотосинтезуючого апарату рослин, що підвищує їх конкурентоспроможність по відношенню до бур'янової рослинності.

Фітоцутливість рослин можливо характеризувати за допомогою аналізу мінливості морфологічних ознак. Амплітуда мінливості ознак визначається

величинами коефіцієнтів варіації. Тому було визначено коефіцієнти варіації довжини стебла та коренів. Вважається, що ознака постійна у випадку, коли значення коефіцієнта варіації не перевищує 33 %, і можна стверджувати, що отримані результати є постійними з коливанням від 17 до 32 % та відносною похибкою вибірки не більше 12 %.

Таким чином, штучні едафотопи (на педоземах на лесоподібному суглинку) можуть бути об'єктом освоєння і використовуватись як спеціальна модель сільськогосподарської рекультивациі земель.

## ВИСНОВКИ

1. Ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*) є ефективним фітотестером на техногенно-порушених ґрунтах до дії кремнієвих сполук. Навіть при внесенні малих концентрацій (від 0,6%-вого розчину)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  він проявляє чутливість до речовини.

2. Монокремнієва кислота в 1%-вому розчині позитивно впливає на схожість насіння та ріст наземної фітомаси і підземної кореневої системи.

3. Лінійний ріст стебла на ранніх етапах розвитку переважає лінійний ріст кореня в 1,05–1,9 разу у всіх варіантах експерименту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Biel, K. Y., Matichenkov, V. V., Fomina, I. R., 2008. Protective role of silicon in living systems. Functional Foods for Chronic Diseases. Advances in the Development of Functional Foods / Eds. Martirosyan D., Richardson M. Texas, D&A Inc., 3, 208–231.
- Chorna, V. I., Vagner, I. V., 2015. Doslidzhennja vmistu zagal'nogo kremniju u chornozemi звичайному та техноземі [Study of total silicon content in ordinary chernozem and technogenic soil]. SWorld–International Scientific Journal 1(38), 24, 30–35.
- Demidov, A. A., Kobets, A. S., Gritsan, Yu. I., Zhukov, A. V., 2013. Prostranstvennaya agroekologiya i rekultivatsiya zemel [Spatial agroecology and land recultivatijn]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Matyichenkov, I. V., 2012. Izuchenie vzaimovliyanie kremnievyih, fosforniyh, azotnyih udobreniy v sisteme pochva-rastenie, diss.k.b.n. [Study on interaction of silicon, phosphorous, and nitrogen fertilizers in soil-plant system, Cand. biol. sci. Diss.]. Moscow (in Russian).
- Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti: DSTU 4138-2002. [Chynnyi vid 28.12.2002]. [Agricultural seeds. Methods of quality determination: DSTU 4138-2002]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003 (in Ukrainian).
- Tarika, O. H., 2006. Ahroekolohichne obgruntuvannia osvoiennia i vykorystannia lesopodibnoho suhlynku pry rekultyvatsii zemel v Nikopolskomu marhantsevorudnomu baseini, avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. s/h nauk, spets. 03.00.16 – «Ekolohiia» [Agroecological basing of the loess-like loam usage and developing during mine-land reclamation in the Nikopol manganese ore basin: Cand. agricult. sci. diss, specialty 03.00.16 – «Ecology»]. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Tsujimoto, Y., Muranaka, S., Saito, K., Asai, H., 2014. Limited Si-nutrient status of rice plants in relation to plant-available Si of soils, nitrogen fertilizer application, and rice-growing environments across Sub-Saharan Africa Field Crops Res. 155, 1–9.

Стаття надійшла в редакцію: 21.05.2017