

УДК 574.4: 631.41

Бедернічек Т.Ю.¹, Партика Т.В.², Хоєцький П.Б.³

ВМІСТ СУЛЬФУРУ У ҐРУНТАХ ОСТРОВІВ СКУА І ГАЛІНДЕЗ (ПРИБЕРЕЖНА АНТАРКТИКА)

Сульфур відіграє важливу роль в обміні речовин живих організмів, входить до складу цистеїну та незамінної амінокислоти метіоніну. Сульфур в ґрунтах знаходиться в органічній та неорганічній формах. У рослину він надходить у вигляді сульфатів SO_4^{2-} , які є основним джерелом цього елемента. Однак неорганічний Сульфур становить зазвичай до 5% від його загального вмісту в ґрунті. Сульфати знаходяться в ґрунтовому розчині у невеликих концентраціях, які залежать від балансу між мінералізацією, іммобілізацією, привнесенням їх ззовні та споживанням рослинами. Частина SO_4^{2-} може бути не доступна для рослин внаслідок абсорбції на поверхні глинистих мінералів, особливо у кислих ґрунтах. Решта, понад 90% S зв'язані органічними речовинами. Органічний сульфур може перебувати у ґрунті в двох формах: C-S та C-O-S. У другій формі він не доступний для рослин, але мінералізація органічного Сульфуру мікроорганізмами здатна забезпечити додаткове надходження S у формі сульфатів у ґрунт [1].

У більшості кліматичних зон Сульфур, зазвичай, внаслідок вивітрювання мінералів переходить у ґрунтовий розчин, звідки засвоюється рослинами чи мікроорганізмами і на тривалий час іммобілізується у складі органічних сполук. Згодом він накопичується як частина органічної речовини ґрунту або у формі вторинних мінералів. Проте більшість ґрунтів в Антарктиці перебувають на ранніх стадіях ґрунтоутворення і можуть значно різнитись за вмістом та формами Сульфуру. На кількість S значно впливають, окрім ґрунтоутворювальної породи, наявність рослинного покриву та орнітогенний фактор, ґрунтові мікроорганізми, близькість до моря тощо.

Багато антарктичних ґрунтів формуються на безсульфатних породах. Збагачені Сульфуром породи поширені лише локально, наприклад на о. Кінг Джордж, о. Сеймур. Ґрунти, що знаходяться ближче до моря характеризуються більшим вмістом S за рахунок привнесення неорганічного сульфуру у формі CaSO_4 з морськими водами або аерозолями [2].

Нестача Сульфуру спричинює численні порушення у рослин. Прояви дефіциту Нітрогену та Сульфуру у рослин зазвичай виглядають подібно і супроводжуються хлорозом. Раніше нами було встановлено, що окремим рослинам *Deschampsia antarctica*, місцезростання яких приурочені до підвищень, далеко від місць гніздувань та кормових столиків морських птахів, був властивий нижчий вміст хлорофілів. Через відсутність видимих джерел Сульфуру, пов'язаних із життєдіяльністю морських птахів (гуано, пір'я, пелетки тощо), ми припустили, що причиною нижчого вмісту фотосинтетичних пігментів може бути дефіцит S, зокрема його доступних для рослин сполук, в едафотопі. Метою дослідження було з'ясувати чи властивий неорнітогенним ґрунтам Аргентинських островів дефіцит Сульфуру.

Для аналізу були відібрані зразки ґрунту на островах Скуа та Галіндез (Аргентинські острови, Прибережна Антарктика). Визначення вмісту Сульфуру в ґрунті проводили за допомогою оптичного емісійного ІСР спектрометра іCAP 6300 Duo. Мінералізацію зразків проводили з використанням мікрохвильової печі MWS-2 в автоклавних посудинах DAP-60K.

Ідентифікацію ґрунтів проводили за WRB 2014 [3]. Проаналізовано Histic Leptosol, Rockic Histosol, Histic Leptosol (Ornithic) та Mawic Histosol (Ornithic), сформовані під *Deschampsia antarctica* E. Desv та мохами роду *Sanionia*.

У роботі прийнято 5% рівень значущості ($P \leq 0,05$). Загальний вміст S наведено у вигляді середнє арифметичне \pm стандартне відхилення.

Результати та обговорення

Більшість ґрунтів Прибережної Антарктики зазнають впливу морських птахів [4]. Зважаючи на це, поділ на "орнітогенні" та "неорнітогенні" ґрунти є досить умовним і залежить від ступеню прояву зоогенного педогенезу як фактору ґрунтоутворення. Відповідно, до орнітогенних віднесли ґрунти, яким властиві видимі ознаки впливу морських птахів – накопичення гуано, пелеток (переважно сформовані з мушель моллюсків), пір'я, шкаралупи яєць тощо. Такими ґрунтами є Histic Leptosol (Ornithic) та Mawic Histosol (Ornithic) (рис. А). Натомість, всі інші, проаналізовані у цій роботі ґрунти, не містять видимих ознак впливу морських птахів і розташовані на значній



віддалі від місць їхньої кормової та гніздової активності (рис. Б). Неорнітогенним ґрунтам властиві, зазвичай, нижчі значення рН, в них міститься менше лабільної органічної речовини, сполук Нітрогену та Фосфору.

Встановлено, що вміст Сульфуру в ґрунтах Аргентинських островів є значним (таблиця). Найменше цього елемента виявлено у Rockic Histosol та Histic Leptosol під мохами роду *Sanionia* – близько 5 mg/g^{-1} . Дещо більше – 6-7 mg/g^{-1} під *D. antarctica*, а також *D. antarctica* та *Sanionia*; найбільше – до 11 mg/g^{-1} у Histic Leptosol (Ornithic) під *D. antarctica*. Отримані результати узгоджуються із дослідженнями Prietzel et al. [5], які дійшли висновку, що наявність мохового покриву сприяє акумуляції Сульфуру, зокрема в органічній формі. Проте у нашому дослідженні найвищий вміст цього елемента виявлено в едафотопі під *D. antarctica*, що свідчить про значний потенціал цього виду рослин щодо секвестрації Сульфуру.

Рис. Histic Leptosol (Ornithic) під *D. antarctica* (А) та Histic Leptosol під *D. antarctica* та *Sanionia* (Б), Аргентинські острови (фото Павла Хоєцького).

Варто зазначити, що валовий вміст Сульфуру у досліджених ґрунтах Антарктичних островів є значно вищим, ніж у більшості зональних ґрунтів помірнього кліматичного поясу. Наприклад, за даними Wang et al. [6], для ґрунтів Великих Рівнин у США загальний вміст Сульфуру змінювався у діапазоні від 0,21 до 1,1 mg/g^{-1} ($n=18$) на луках і від 0,15 до 1,2 mg/g^{-1} ($n=17$) на ріллі.

Таблиця

Загальний вміст Сульфуру та вміст Сульфуру органічних сполук в ґрунтах Аргентинських островів

Ґрунт	Едифікатори	S _з , мг/г ⁻¹	S _{орг} , % від S _з
Histic Leptosol	<i>D. antarctica</i>	5,62 ± 1,13	92 – 96
Histic Leptosol	<i>Sanionia</i>	5,51 ± 0,83	90 – 93
Rockic Histosol	<i>Sanionia</i>	4,86 ± 0,51	90 – 95
Histic Leptosol	<i>D. antarctica</i> + <i>Sanionia</i>	6,53 ± 1,31	93 – 96
Histic Leptosol (Ornithic)	<i>D. antarctica</i>	10,73 ± 2,8	82 – 87
Mawic Histosol (Ornithic)	<i>Sanionia</i>	9,50 ± 1,93	80 – 85

Примітки: S_з – загальний вміст Сульфуру, S_{орг} – вміст Сульфуру органічних сполук.

В ініціальних ґрунтах Прибережної Антарктики, загальний вміст Сульфуру змінюється в широких межах. В неорнітогенних нейтральних ґрунтах на о. Джеймса Росса вміст S змінювався від 0,11 до 1,82 мг/г⁻¹ [5]. Орнітогенні ґрунти мису Галлетт, на півночі Землі Вікторії характеризуються значно вищими значеннями – від 11,6 до 12,2 мг/г⁻¹ Сульфуру. Вміст S в ґрунтах на морені цього ж мису значно нижчий і не перевищує 0,76 мг/г⁻¹, а у піщаних відкладах на пляжі, що періодично зазнають впливу збагачених гуано вод із колоній пінгвінів, сягає 0,29 мг/г⁻¹ S [7]. Схожі результати було отримано іншими дослідниками [8], які виявили, що загальний вміст S в орнітогенних ґрунтах Прибережної Антарктики становив 4,05±1,95 мг/г⁻¹.

Згідно наших досліджень, як і в роботах згаданих вище авторів, переважна більшість Сульфуру міститься у недоступній для рослин органічній формі. Частка цього елемента у складі органічних сполук сягала 95% у більшості досліджених нами ґрунтів, але була істотно меншою (80-87%) в орнітогенних ґрунтах. Це свідчить про значно сприятливіші умови як для рослин, так і для едафону у ґрунтах, що зазнають відчутного орнітогенного впливу. Також, отримані дані щодо дуже високого вмісту Сульфуру в ґрунтах Аргентинських островів узгоджуються із висловленим нами раніше припущенням [9] щодо важливого значення сірковмісних амінокислот як прекурсорів органічної речовини ґрунту за низьких температур.

Таким чином, загальний вміст Сульфуру у досліджених ґрунтах островів Галіндез та Скуа є високим від 4,86 до 10,73 мг/г⁻¹. Доступні для рослин, неорганічні форми Сульфуру склали від 20% від загального вмісту S в орнітогенних до 5% – в неорнітогенних ґрунтах. Висловлена у цьому дослідженні гіпотеза виявилась хибною – вміст Сульфуру не є лімітуючим чинником для рослинних угруповань сформованих на досліджених ґрунтах.

Накопичення значної кількості Сульфуру в орнітогенних та неорнітогенних ґрунтах Прибережної Антарктики може свідчити про важливе значення сульфур-вмісних амінокислот як прекурсорів органічної речовини ґрунту. Цей феномен не властивий більшості зональних ґрунтів помірного кліматичного поясу, проте може проявлятися за низьких температур.

У подальших дослідженнях доцільно проаналізувати вміст Сульфуру у всіх основних типах ґрунтів Аргентинських островів із застосуванням різних методів визначення S, зокрема ICP-спектрометрії та елементного CHNS-аналізу.

Подяка. Дослідження виконано у межах проекту "Оцінка потоків біогенних елементів та парникових газів у наземних екосистемах Прибережної Антарктики" № 0117U003733 за фінансової та логістичної підтримки Національного антарктичного наукового центру МОН України.

1. Scherer, H. W. (2009) Sulfur in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 326–335.
2. Bockheim, J. G. (Ed.). (2015). *The soils of Antarctica*. Springer.
3. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
4. Заіменко Н.В., Бедернічек Т.Ю., Швартау В.В., Михальська Л.Н., Хоецький П.Б. Инициальное почвообразование в Прибрежной Антарктике: существуют ли неорнитогенные почвы? // Укр. антаркт. журн. – 2016. – 15. – С. 170-175.
5. Prietzel, J., Prater, I., Carlos Colucho Hurtarte, L., Hrbáček, F., Klysubun, W., Mueller, C.W. (2019) Site conditions and vegetation determine phosphorus and sulfur speciation in soils of Antarctica, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.12.001>
6. Wang, J., Solomon, D., Lehmann, J., Zhang, X., Amelung, W. (2006) Soil organic sulfur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by long-term cultivation and climate. *Geoderma* 133, 160–172.
7. Hofstee, E. H., Balks, M. R., Petchey, F. and Campbell, D. I. (2006) Soils of Seabee Hook, Cape Hallett, northern Victoria Land, Antarctica. *Antarctic Sci.* 18, 473–486.
8. Zhu, R., Wang, Q., Ding, W., Wang, C., Hou, L., & Ma, D. (2014). Penguins significantly increased phosphine formation and phosphorus contribution in maritime Antarctic soils. *Scientific reports*, 4, 7055. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep0705>
9. Заіменко Н.В., Бедернічек Т.Ю., Лоя В.В., Михальська Л.М., Швартау В.В. Особливості формування органічної речовини в ініціальних ґрунтах Прибережної Антарктики // Фізіологія рослин і генетика. – 2018. – 50 (6). – С. 533-539. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2018.06.533>

¹ Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, м. Київ
e-mail: bedernichek@nas.gov.ua

² Інститут сільськогосподарства Карпатського регіону НААН, Львівська обл., с. Оброшине
e-mail: tetyana.partyka@gmail.com

³ Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
e-mail: hpb@ua.fm

Bedernichek T., Partyka T., Khoyetskyi P.

Sulfur content in the soils of Skua and Galindez Islands (Maritime Antarctic)

Sulfur is an important nutrient, as well as a part of some aminoacids, enzymes and vitamins. The lack of sulfur in the plant organism is accompanied by a decrease of photosynthetic pigments content and, by external signs, resembles chlorosis caused by nitrogen deficiency. In Maritime Antarctica the main source of sulfur for terrestrial ecosystems are numerous ornithogenic products – guano, feathers, pellets, etc. However, many soils of this region do not contain visual signs of ornithogenous impact. The purpose of this study was to establish whether the sulfur content in these soils is the limiting factor for plant growth and development. It has been found that the total S content in both ornithogenic and non-ornithogenic soils is high, much higher than in the zonal soils of the temperate climate zone. Most of the sulfur is contained in the organic compounds and is not available for plants – more than 80% in ornithogenic and more than 90% in non-ornithogenic soils. It was found that the availability of sulfur is not a limiting factor for the growth and development of plants on the studied soils of Coastal Antarctica. We suggest that sulfur-containing organic substances play an important role as precursors of soil organic matter under Antarctic conditions.

Keywords: *Maritime Antarctic, sulfur, sulphur, cryogenic soils.*