

УДК 581.144.2+581.524+581.55

**МАКРОЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД РОСЛИН *CAREX HIRTA* L.  
ЗА ДІЇ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ****Г. Коровецька\*, Н. Джура\*, О. Цвілинюк\*, О. Терек\*, З. Диньо\*\*, Л. Шимон\*\***

\*Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

e-mail: korovetska@gmail.com

\*\*Вища школа м. Ньиредьгаза

вул. Шошто, 31/б, Ньиредьгаза 4400, Угорщина

Досліджено вплив нафтового забруднення на макроелементний склад ґрунту та рослин *Carex hirta* L., що росли на ньому. Встановлено, що забруднення ґрунту нафтою у кількості 50 г нафти на 1 кг ґрунту викликає нагромадження P, S, K, Na, Ca, Mg, Fe та Si у надземній частині та кореневищах (за винятком K) рослин *Carex hirta*. Внесення у ґрунт сирової нафти та ріст на ньому рослин осоки шоретковолосистої спричинює підвищення у ґрунті рівня S та Na.

*Ключові слова:* нафтове забруднення, мінеральні елементи, *Carex hirta* L.

Проблема нафтового забруднення є однією з найактуальніших і найважливіших проблем нашого часу. З розвитком масштабів видобутку нафти і розростанням інфраструктури для її транспортування та переробки збільшується негативний вплив на довкілля. Це одна із найнебезпечніших для природи індустрій. Щорічно десятки тонн нафти забруднюють ґрунти, знижуючи їх родючість. Більшість земель тією чи іншою мірою забруднені сьогодні нафтопродуктами [13, 1, 10, 23, 20, 24, 17, 14]. Через зміну фізико-хімічних властивостей забрудненого ґрунту (підвищення гідрофобності та заповнення нафтою ґрунтових капілярів) і пряму токсичну дію вуглеводнів нафти (фітотоксичність) рослинний покрив вимирає [8]. Проте стійкі види рослин можуть виживати і рости при помірному чи слабкому забрудненні (менше 10% нафти у ґрунті). Секретуючи цукри й амінокислоти у ризосферу, рослини підтримують ріст і метаболітичну активність ґрунтових мікроорганізмів, що розкладають нафту [25].

Для нормального життєвого циклу рослинного організму необхідними є елементи мінерального живлення. Відомо, що мінеральні елементи не тільки фундаментально впливають на клітинний метаболізм, а й беруть участь в осмотичній регуляції, безпосередньо впливаючи на водний режим рослин [5]. Тому актуальним є дослідження ролі елементів мінерального живлення у механізмах, що визначають адаптацію рослин до умов нафтозабруднених екотопів. Метою нашої роботи було дослідити елементний склад забрудненого нафтою ґрунту та рослин *Carex hirta*, які росли на ньому, для розуміння адаптивних механізмів і обґрунтування можливостей використання цих рослин у фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів.

Об'єктом досліджень були рослини *Carex hirta* L. У посудини з ґрунтом вносили нафту густиною 0,87 г/мл, у кількості 50 г нафти на 1 кг ґрунту. Через три тижні після внесення нафти у ґрунт (необхідний термін для вивітрювання летких нафтопродуктів) висаджували вегетативні особини *Carex hirta*. Контролем слугували рослини, вирощені у ґрунті без нафти. Після місяця росту рослин визначали вміст фосфору, сірки, калію, натрію, кальцію, магнію, заліза та кремнію у ґрунті та вирощених на ньому рослинах.

Визначення вмісту макроелементів у досліджуваних зразках проводили методом рентгено-флуоресцентної спектроскопії на приладі «Spectro Xeros» (Інститут сільськогосподарських і молекулярних досліджень Вищої школи м. Ніредьгаза).

У результаті проведених нами досліджень було з'ясовано, що нафтове забруднення суттєво впливає на вміст мінеральних елементів у рослинах *Carex hirta* (див. таблицю).

Відомо, що фосфор є одним із найважливіших елементів живлення рослин. Цей макроелемент створює енергетичну основу й енергетичний резерв рослинних клітин. Усі найважливіші біохімічні процеси здійснюються за участю фосфору, оскільки він входить до складу нуклеїнових кислот, нуклеотидів, ферментів і продуктів фотосинтезувального та дихального циклів [11]. Наші результати засвідчують, що при забрудненні ґрунту нафтою у кількості 50 г/кг вміст фосфору зростає у надземній частині рослин осоки шорстковолосистої у 4,6 разу, а у кореневищах – у 44 рази щодо контролю. Можливо, нафтове забруднення як сильний стресовий чинник активує процеси розпаду фосфорорганічних сполук, що, у свою чергу, спричиняє підвищення рівня фосфору в рослинах. Рівень даного елемента у нафтозабрудненому ґрунті без рослин *Carex hirta* знизився у 2 рази порівняно з контрольним варіантом. Очевидно, це зумовлено діяльністю мікроорганізмів (бактерій, актиноміцетів, дріжджів, грибів), які розкладають нафту і живляться в основному азотом та фосфором [19]. Зростання вмісту фосфору у ґрунті, на якому росли рослини, порівняно з ґрунтом без рослин *Carex hirta* можна пояснити зростанням кількості мікоризних грибів, джерелом живлення яких є кореневі виділення рослин. Ці мікроорганізми здатні переводити нерозчинні форми мінеральних елементів (зокрема фосфору) в розчинні та доступні для рослин форми [3, 2]. Зокрема, Муратова зі співав. [21] зазначають, що розвиткові кореневої системи рослин пшениці у нафтозабрудненому ґрунті сприяють ризобактерії роду *Azospirillum*, ріст яких стимулюється нафтою [21].

Важливу роль у життєдіяльності рослинного організму відіграє і сірка. Цей елемент входить до складу амінокислот (цистеїну та метіоніну), коензиму А, вітамінів (ліпоєвої кислоти, біотину, тіаміну), підтримує рівень окисно-відновного потенціалу клітини [9]. Як показали наші дослідження, вміст сірки підвищується як у надземній частині, так і у кореневищах рослин *Carex hirta* (у 3,3 та 1,5 разу відповідно). У нафтозабрудненому ґрунті, на якому росли рослини, рівень цього елемента зростає в 1,5 разу порівняно із контролем. У забрудненому ґрунті без рослин вміст сірки залишився без змін. Подібні результати отримані Евріт [18] при вивченні впливу нафти на фізичні та хімічні властивості ґрунту [18].

Калій є одним із найнеобхідніших елементів живлення рослин. Понад 60 ферментів активуються калієм. Він сприяє гідратації протоплазми, знижує її в'язкість і підвищує оводненість. У рослинних клітинах калій перебуває в іонній формі та не входить до складу органічних речовин, тому він дуже рухливий, легко реутилізується і відіграє важливу роль у процесах транспорту іонів, водообміні та процесах осморегуляції рослини [12, 27]. Результати наших досліджень показали підвищення рівня калію (у 4,2 разу) у надземній частині рослин осоки шорстковолосистої порівняно з контролем. Можливо, це зумовлено тим, що мінеральні елементи як осмотично більш активні порівняно з відносно великими молекулами органічних сполук мають більшу здатність утримувати воду при меншій їх концентрації і таким чином можуть істотніше впливати на формування осмотичного та водного потенціалів клітин [5]. Водночас вміст цього елемента у кореневищах рослин *Carex hirta*, що росли на нафтозабрудненому ґрунті, був нижчим в

Вміст макроелементів у ґрунті та рослинах *Carex hirta* за дії нафтового забруднення (% сухої маси)

Параметри дослідження	Кількість нафти, г/кг ґрунту	P	S	K	Na	Ca	Mg	Fe	Si
<i>Carex hirta</i>									
Надземна частина	0	0,89±0,005	1,98±0,004	8,40±0,021	0,85±0,200	1,04±0,006	0,79±0,064	0,04±0	4,75±0,017
Кореневища	50	4,08±0,020	6,58±0,016	35,55±0,090	4,61±0,300	4,72±0,028	3,68±0,260	0,37±0,003	23,09±0,070
	0	0,0003±0	0,009±0	0,503±0,01	0,025±0,005	0,184±0,012	0,005±0	0,085±0,001	0,072±0,001
	50	0,013±0,002	0,014±0,003	0,333±0,008	0,033±0,002	0,338±0,02	0,007±0	0,195±0,003	0,191±0,003
Ґрунт з рослинами	0	0,50±0,005	0,10±0,001	2,20±0,013	0,86±0,200	0,24±0,003	1,58±0,072	0,99±0,004	72,68±0,090
<i>Carex hirta</i>	50	0,43±0,004	0,15±0,001	2,25±0,013	1,08±0,005	0,21±0,003	1,58±0,073	0,99±0,004	71,47±0,089
Ґрунт без рослин	0	0,0003±0	0,0002±0	1,0±0,002	0,12±0	0,153±0,002	0,029±0	2,326±0,005	5,01±0,006
<i>Carex hirta</i>	50	0,00015±0	0,0002±0	1,02±0,002	0,111±0	0,163±0,002	0,028±0	2,623±0,005	4,83±0,006

1,5 разу за контроль. При цьому у нафтозабрудненому ґрунті за участі рослин рівень калію підвищився більш ніж у 2 рази порівняно з ґрунтом без рослин.

Натрій є активатором транспортних систем клітини, зокрема  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ -ази плазмалеми, впливає на дихальний ланцюг [6]. Нами виявлено, що нафтове забруднення (50 г/кг) зумовлює суттєве нагромадження натрію (у 5,4 разу) у надземній частині рослин *Carex hirta*, тоді як у кореневищах – лише в 1,3 разу порівняно з рослинами на незабрудненому ґрунті. Можна припустити, що більше нагромадження іонів натрію в надземній частині рослин осоки шорстковолосистої необхідне для підтримання постійного току води від кореневої системи до надземної частини рослини. Водна фаза рослини як проміжна фаза у системі ґрунт – рослина – атмосфера повинна мати різний водний потенціал тканин по вертикальному профілю, що регулюється самим організмом [4]. Рівень натрію у ґрунті за впливу нафти і за участі рослин осоки шорстковолосистої зростає в 1,2 разу порівняно з контролем, що, можливо, пов'язане з виділенням його у середовище кореневищами рослини. Результати наших досліджень показують, що вміст натрію у нафтозабрудненому ґрунті (без участі рослин) не змінюється щодо контролю. Подібні дані були отримані Огбоходу зі співавт. [22], які вивчали вплив нафтового забруднення на властивості ґрунту та рослини кукурудзи, що росли на ньому.

Важливу роль в обміні речовин рослинної клітини виконують також такі мікроелементи, як кальцій і кремній. Кальцій, взаємодіючи із негативно зарядженими групами фосфоліпідів, стабілізує мембрану та знижує її пасивну проникність. Майже вся катіонообмінна ємність поверхні кореня зайнята кальцієм. Таким чином, обмежуючи надходження інших іонів у рослину, кальцій сприяє усуненню токсичності надлишкових концентрацій іонів амонію, алюмінію, марганцю та заліза [6, 9]. Кремній насичує клітинні стінки, надаючи їм міцності, впливає на процеси поділу клітин, синтез білка, хлорофілу, ДНК, РНК, ксантофілу, ліпідів, а також процеси фотосинтезу [15]. Захищає рослини від токсичного впливу високих доз марганцю і відновленого заліза, пом'якшує токсичний вплив алюмінію на рослини [6]. Наші дослідження показали, що рослини *Carex hirta* за дії нафтового забруднення можуть нагромаджувати кальцій і кремній. Отримані результати засвідчують, що вміст кальцію та кремнію у надземній частині рослин осоки шорстковолосистої зростає у 4,5 та 4,8 разу щодо контролю, тоді як у кореневищах цих рослин – в 1,8 та 2,6 разу відповідно, порівняно з контролем. Відомо, що  $\text{SiO}_2$  має здатність зв'язувати воду, тому його сполуки сприяють підвищенню оводненості рослинних тканин [7], що, можливо, є одним із механізмів захисту, який дає рослинам змогу вижити за умов водного дефіциту. Результати наших досліджень засвідчують, що рослини *Carex hirta* сприяють підвищенню вмісту кальцію та кремнію у нафтозабрудненому ґрунті в 1,3 та 14,8 разу відповідно щодо контролю.

Магній входить до складу хлорофілу, є кофактором ферментів, які каталізують перенесення фосфатних груп, необхідний для активації багатьох ферментів гліколізу та циклу Кребса, підтримує цілісність рибосом [6, 9]. Магній, як і кальцій, впливає на включення дезоксирибонуклеотидів у молекулу ДНК [15]. Як видно із даних таблиці, вміст магнію підвищується і в надземній частині (у 4,6 разу), і в кореневищах (в 1,3 разу) рослин *Carex hirta*, порівняно з контролем. Польські дослідники Вишковський зі співавт. [26], які вивчали вплив нафтового забруднення на макроелементний склад рослин жовтого люпину, також виявили зростання вмісту цього елемента в органах досліджуваних рослин. Отримані нами результати показують, що забруднений нафтою ґрунт, на якому росли рослини осоки шорстковолосистої, містить у 56 разів більше магнію порівняно з ґрунтом без рослин.

Залізо бере участь у функціонуванні основних редокс-систем фотосинтезу та дихання, входить до складу цитохромів, каталази, пероксидази та металоціанінових комплексів [6, 15]. Результати аналізу вмісту заліза в органах рослин осоки шорстковолосистої свідчать про істотне підвищення його кількості у надземній частині (у 9,6 разу) та у коренях (у 2,3 разу) щодо контролю. Подібні результати отримані Ебдел-Хемідом зі співавт. [16] при вивченні впливу нафтового забруднення на рослини кукурудзи та пшениці. Як зазначають дослідники, вміст Fe у досліджуваних рослин підвищився у 2,5 разу порівняно з контролем [16]. А в нафтозабрудненому ґрунті, на якому росли рослини *Carex hirta* в наших дослідженнях, рівень цього елемента знижується у 2,6 разу, порівняно з ґрунтом без рослин.

Як видно із наведених вище результатів, нафтове забруднення у кількості 50 г нафти на 1 кг ґрунту спричинює нагромадження макроелементів у надземній частині та кореневищах (за винятком калію) рослин *Carex hirta*. Можна припустити, що відновлення осмотичного гомеостазу у рослин осоки шорстковолосистої відбувається внаслідок нагромадження осмотично активних неорганічних іонів.

1. Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Экология почв: Учеб. пособие для студентов вузов. Ч. 3. Загрязнение почв. Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. 54 с.
2. Джура Н. М., Романюк О. І., Гонсьор Ян та ін. Використання рослин для рекультивациі ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами // Екологія та ноосферологія. 2006. Т. 17. № 1–2. С. 55–60.
3. Елланська Н. Е., Головка Е. А. Еколого-трофічні взаємовідносини вищих рослин і мікроорганізмів // Физиол. и биохим. культ. раст. 2004. Т.36. № 5. С. 383–389.
4. Емельянов Л. Г., Анкуд С. А. Водообмен и стресс-устойчивость растений. Минск: Наука и техника, 1992. 144 с.
5. Кордюм Е. Л., Сытник К. М., Бараненко В. В. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях. К.: Наук. думка, 2003. 283 с.
6. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин / За ред. С.Я. Коць, Н.В. Петерсон. К.: Логос, 2005. 150 с.
7. Мусієнко М. М. Физиология растений: Підручник. К.: Либідь, 2005. 806 с.
8. Назаров А. В., Иларионов С. А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Письма в Междунар. науч. журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 1. С. 62–65.
9. Полевой В. В. Физиология растений: Учеб. для биол. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1989. 464 с.
10. Рихимова Э. Р., Гарусов А. В., Заринова С. К. Биологическая активность нефтезагрязненной почвы при засолении // Почвоведение. 2005. № 4. С. 481–485.
11. Стахів М. П., Швартау В. В. Визначення рівнів доступного фосфору у ґрунті для високопродуктивних сортів озимої пшениці // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол. 2008. Вип. 22. С. 5–8.
12. Ткачук К. С., Жукова Т. В. Сучасний стан дослідження фізіологічної ролі і кругообігу  $K^+$  у системі середовище – рослина // Физиол. и биохим. культ. раст. 2005. Т. 37. № 6. С. 475–485.
13. Угрехелидзе Д. Ш. Метаболизм экзогенных алканов и ароматических углеводов в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 1976. 223 с.

14. Цайтлер М. Й. Зміни структури ценопопуляцій *Carex hirta* в умовах нафтового забруднення екотопів на Бориславському нафтовому родовищі // Екологія та ноосферологія. 2000. Т. 9. № 1–2. С. 127–132.
15. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 207 с.
16. Abdel-Hamid M., Abo-Zied M., El-Asar N., Saleh S. Corn and wheat as bioindicators for oil pollution // Egyptian J. of Soil Science. 2004. Vol. 44. N 2. P. 271–279.
17. Ekundayo E., Emede T., Osayande D. Effects of crude oil spillage on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in soils of midwestern Nigeria // Plant Foods for Human Nutrition. 2001. Vol. 56. P. 313–324.
18. Everett K. Some Effects of Oil on the Physical and Chemical Characteristics of Wet Tundra Soils // Arctic. 1978. Vol. 31. N 3. P. 260–276.
19. Frick C., Farrell R., Germida J. Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites // Department of Soil Science University of Saskatchewan Saskatoon, SK Canada S7N 5A8. 1999. P. 23–25.
20. Molina-Barahona L., Vega-Loyo L., Guerrero M. et al. Ecotoxicological Evaluation of Diesel- Contaminated Soil Before and After a Bioremediation Process // Wiley Periodicals. 2005. P. 100–109.
21. Muratova A., Turkovskaja O., Antoyuk L. et al. Oil-oxidizing potential of associative rhizobacteria of the genus *Azospirillum* // Mikrobiol. 2005. Vol. 74. N 2. P. 248–254.
22. Ogboghodo I., Erebor E., Osemwota I., Isitekhale H. The effects of application of poultry manure to crude oil polluted soils on maize (*Zea mays*) growth and soil properties // Environmental Monitoring and Assessment. 2004. Vol. 96. P. 153–161.
23. Rahman K. Towards efficient crude oil degradation by a mixed bacterial consortium // Bioresource Technology. 2002. Vol. 85. P. 257–261.
24. Schaefer M., Petersen S., Filser J. Effects of *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora chlorotica* and *Eisenia fetida* on microbial community dynamics in oil-contaminated soil // Soil Biol. Biochem. 2005. Vol. 37. P. 2065–2076.
25. Suominen L., Jussila M., Makelainen K. et al. Evaluation of the *Galega-Rhizobium galegae* system for the bioremediation of oil contaminated soil // Environmental Pollution. 2000. Vol. 107. P. 239–244.
26. Wyszowski M., Wyszowska J., Ziolkowska A. Effect of soil contamination with diesel oil on yellow lupine yield and macroelements content // Plant, Soil, Environ. 2004. Vol. 50. P. 218–226.
27. Xu S., An L., Feng H. et al. The seasonal effects of water stress on *Ammopiptanthus mongolicus* in a desert environment // J. of Arid Environments. 2002. Vol. 51. P. 437–447.

**EFFECTS OF CRUDE OIL CONTAMINATED SOIL ON THE MINERAL NUTRIENT ELEMENTS OF SEDGE (*CAREX HIRTA* L.) PLANTS****H. Korovetska\*, N. Djura\*, O. Tsvilynjuk\*, O. Terek\*, Z. Dinya\*\*, L. Simon\*\***

*\*Ivan Franko National University of Lviv  
4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine  
e-mail: korovetska@gmail.com*

*\*\*College of Nyiregyhaza  
No 31/b, Sostoi St., Nyiregyhaza 4400, Hungary*

The effects of crude oil contaminated soils on mineral nutrient elements of *Carex hirta* L. plants were investigated. The results showed significantly higher concentration of phosphorus, sulfur, sodium, calcium, magnesium, iron and silicon in the skilled sedge plants. The increase of K concentration in the *Carex hirta* plants was observed only in shoots. The concentration of S and Na increased in oil polluted soil with sedge plants.

*Key words:* mineral elements, oil contamination, *Carex hirta* L.

**ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НА МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ *CAREX HIRTA* L.****Г. Коровецкая\*, Н. Джура\*, О. Цвилынюк\*, О. Терек\*, З. Диньо\*\*, Л. Шимон\*\***

*\*Львовский национальный университет имени Ивана Франко  
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина  
e-mail: korovetska@gmail.com*

*\*\*Высшая школа г. Ньиредьхаза  
ул. Шошто, 31/б, Ньиредьхаза, 4400, Венгрия*

Исследовано влияние нефтяного загрязнения на макроэлементный состав почвы и растений *Carex hirta* L. Установлено, что загрязнение почвы сырой нефтью в количестве 50 г нефти на 1 кг почвы вызывает увеличение содержания P, S, K, Na, Ca, Mg, Fe и Si в надземной части и корневых частях (за исключением K) растений *Carex hirta*. Произрастание растений осоки жестковолосистой на загрязненной нефтью почве способствовало повышению количества S и Na в почве.

*Ключевые слова:* минеральные элементы, нефтяное загрязнение, *Carex hirta* L.

Стаття надійшла до редколегії 12.03.09

Прийнята до друку 28.04.09