

УДК 631.46

ФІТОТОКСИЧНА ОЦІНКА ҐРУНТІВ НА ТЕРИТОРІЯХ ПІДЗЕМНОЇ ВИПЛАВКИ СІРКИ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО СІРКОНОСНОГО БАСЕЙНУ

В. Левик

*Інститут екології Карпат НАН України
вул. Козельницька, 4, Львів 79026, Україна
e-mail: v-italy@ukr.net*

Досліджено фізико-хімічні властивості та фітотоксичність ґрунтів на територіях підземної виплавки сірки Немирівського родовища (Україна) та родовища "Єзюрко" (Польща). Встановлено тісні кореляційні зв'язки між сірчанним забрудненням, кислотністю, фітотоксичним ефектом ґрунтів і здатністю насіння до проростання, росту й розвитку коренів і пагонів рослин *Raphanus sativus* L. Фітотоксичність досліджених ґрунтів уповільнює процеси самовідновлення рослинного, а також природного ґрунтового покриву техногенних територій під впливом природних сукцесій.

Ключові слова: техногенні ґрунти, фітотоксичний ефект, сірка, кислотність, родовище.

Техногенне навантаження на ґрунтові комплекси значно погіршує екологічні функції едафотопу, які забезпечують життєвий простір для живих організмів і людини. У межах Передкарпатського сірконосного басейну на території Західної України та південно-східної Польщі, де протягом останніх 30-ти років видобуток сірки проводився кар'єрно-відвальною і методом підземної виплавки сірки (ПВС), залишилися значні площі спустошених і забруднених елементарною сіркою та її сполуками ґрунтів. Загалом видобуток сірки методом підземної виплавки (метод Фраша) – більш економічно вигідний, оскільки він дає змогу вже на першій стадії видобутку отримати порівняно чисту сірку, яка потребує лише рафінації. Температура плавлення сірки (менше 120°C) виправдала застосування установки, яка складається зі системи труб: однією з них подається гаряча вода; під дією стиснутого повітря, що надходить другою трубою, на поверхню підіймається розплавлена сірка. Уперше метод Фраша був застосований для сірчаних родовищ США у 1890 р. У межах території Передкарпатського сірконосного басейну ПВС була запроваджена у Польщі (родовище Гжибув, 1866) та в Україні (Староязівське родовище, 1969).

Після припинення видобутку сірки на більшості родовищ Передкарпатського сірконосного басейну в 90-х рр. ХХ ст. залишилися техногенні території зі зміненим природним ландшафтом, які потребують рекультивациі. Застосування технічної фази рекультивациі, яка передбачає нанесення родючого шару ґрунту на поверхню техногенного мінерального субстрату та насадження деревних видів рослин, забезпечує формування типу техногенно-трансформованих ґрунтів, а саме – недиференційованих техноземів [4, 8]. У польській номенклатурі ґрунти територій, які сформувалися після гірничодобувної діяльності, зараховуються до антропогенних ґрунтів – індустріоземів [15].

Наслідком видобутку сірки методом Фраша були численні викиди сірчаної руди на поверхню ґрунту, що призвело до сильного закислення ґрунтів і цілковитого знищення рослинного покриву даних територій, а також утворення карстових підземних порожнин у місцях виплаву пластів сірчаних руд.

На територіях ПВС домінують безструктурні монолітні ґрунти, серед яких розрізняють окремі компоненти антропогенних ґрунтів: материнську породу, пофлотаційне вапно і гранули елементарної сірки [11]. Відсутність відповідної структури та невисокий вміст гумусу обмежують динаміку процесів аерації в профілі та динаміку заселення ґрунтів мікроорганізмами і їхню біологічну активність [12, 13]. Параметри водно-повітряного режиму техногенних ґрунтів гальмують ріст і розвиток рослин [10]. Ці ґрунти також характеризуються вищою щільністю, зниженою зволоженістю і вмістом гумусу в поверхневому шарі порівняно із зональними дерново-підзолистими ґрунтами [7, 8, 14].

Накопичення сполук сірки та промислових відходів на поверхні ґрунту є причиною його забруднення та, ймовірно, токсичності. Визначити ступінь токсичності можна за допомогою біотестування едафотопу [3]. З такою метою застосовується біотест на фітотоксичність (фітотест), який здатний адекватно реагувати на екзогенні хімічні впливи, що проявляється в морфологічних і фізіологічних змінах у процесах росту й розвитку рослин. Так, зокрема, ґрунти, забруднені важкими металами, негативно впливають на процес елонгації корінців рослин та інгібують їхній ріст загалом [2]. Фітотоксини можуть здійснювати істотний вплив на рослинні клітини, різні фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, їхній хімічний склад, що може призвести до зниження продуктивності та порушення фітосанітарного стану ґрунтів [9]. Фітотестування є інформативним, високочутливим інтегральним методом біотичної індикації, який дає змогу якісно оцінити фітотоксичність ґрунтів. Для такого аналізу використовуються різні тест-рослини, що реагують на найбільш несприятливі зміни у ґрунті чи повітрі.

Об'єктами досліджень було обрано техногенні ґрунти Немирівського родовища сірки (Яворівське ДГХП „Сірка”, Україна) та родовища сірки “Єзюрко” (підприємство “Сяркополь” в Тарнобжегу, Польща). У межах Немирівського родовища для оцінки латерального розподілу показників було закладено 8 ґрунтових розрізів методом трансекта в напрямку до зонального лісу (розрізи №№ 1–8) та один – на контрольній ділянці дубово-соснового лісу (№ 9); на території родовища сірки “Єзюрко” закладено 3 розрізи методом „трикутника” в зоні бурової свердловини (№№ 10–12) та один – у березово-дубово-сосновому лісі (№ 13). Типи ґрунтів у межах техногенного впливу представлені ембріоземами ініціальними з цілковито або частково відсутнім рослинним покривом, на обох контрольних ділянках (дубово-соснові ліси) – дерново-слабопідзолистими супіщаними ґрунтами [3]. Ґрунтові зразки були відібрані на глибині 0–10 см та 10–20 см.

Лабораторні дослідження проводили в трьох повторюваностях у повітряно-сухих зразках ґрунтів, просіяних через сито діаметром отворів 2 мм, вологість яких доводилася до 60% від повної польової вологоємності. Визначення показників проводили згідно із загальноприйнятими методиками: рН_{H2O} – потенціометрично; вміст органічного вуглецю – методом Тюріна; вміст рухомої сірки (S-SO₄, мг·кг⁻¹ ґрунту) – турбідиметричним методом з колориметричним закінченням.

Визначення фітотоксичності техногенних ґрунтів проводили за Берестецьким – методом проростків на субстратах протягом 72 год редиски посівної (*Raphanus sativus* L.), для якої оптимальними є пухкі супіщані ґрунти з високим вмістом органічних речовин і слабокислою чи нейтральною реакцією. Визначали схожість насіння та морфологічні параметри проростків – довжини кореня і пагона [1]. Фітотоксичний ефект (ФЕ, %) розраховували за формулою [6]:

$$FE = \frac{L_0 - L_x}{L_0} \cdot 100$$

де L_0 – середня довжина кореня рослини, вирощеної на контрольному середовищі; L_x – середня довжина кореня рослини, вирощеної під впливом токсичного фактора.

Для визначення кореляційних зв'язків між досліджуваними параметрами тест-культур і фізико-хімічними властивостями ґрунтів застосовували загальноприйняті методи математичного аналізу.

Надлишок сірки у ґрунтах на територіях колишніх розробок сірчаних родовищ сприяє розвитку процесів, які є небезпечними для мікроорганізмів і рослин та істотною мірою впливають на швидкість природної чи штучної ренатуралізації порушених ландшафтів. Для верхнього горизонту ґрунту вміст сульфатної сірки в межах розрізів №1–3, 5 та №10–12, закладених у зоні впливу свердловин Немирівського родовища та родовища “Єзюрко” відповідно, коливався від 591,8 до 6214,3 мг·кг⁻¹ (табл. 1).

Тобто перевищення рівнів ГДК, яке становить 160 мг·кг⁻¹ S-SO₄, виявлено для чотирьох ґрунтових розрізів на території Немирівського родовища і трьох розрізів родо-

Таблиця 1

Фізичні та фізико-хімічні властивості ґрунтів на територіях підземної виплавки сірки

| Номер ґрунтового розрізу | Глибина відбору, см | S-SO ₄ , мг/кг | pH _{H₂O} | C, % | Вологість ґрунту, % |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|------|---------------------|
| Немирівське родовище сірки, Україна | | | | | |
| 1 | 0-10 | 663.3 | 2.36 | 0.14 | 4.0 |
| | 10-20 | 418.4 | 2.67 | 0.15 | 4.1 |
| 2 | 0-10 | 591.8 | 2.35 | 0.59 | 6.6 |
| | 10-20 | 449.0 | 2.32 | 0.36 | 24.0 |
| 3 | 0-10 | 1193.9 | 2.96 | 0.98 | 14.4 |
| | 10-20 | 1255.1 | 3.35 | 0.88 | 20.7 |
| 4 | 0-10 | 102.0 | 3.53 | 1.02 | 16.1 |
| | 10-20 | 20.4 | 3.94 | 0.56 | 10.1 |
| 5 | 0-10 | 1204.1 | 2.71 | 1.10 | 8.2 |
| | 10-20 | 1387.8 | 2.68 | 1.58 | 13.2 |
| 6 | 0-10 | 24.1 | 3.34 | 0.15 | 7.8 |
| | 10-20 | 10.2 | 3.86 | 0.07 | 4.7 |
| 7 | 0-10 | 13.3 | 4.25 | 0.22 | 4.0 |
| | 10-20 | 10.2 | 4.66 | 0.15 | 6.3 |
| 8 | 0-10 | 30.2 | 4.49 | 0.10 | 7.1 |
| | 10-20 | 20.4 | 4.68 | 0.08 | 6.0 |
| 9 | 0-9 | 19.4 | 4.22 | 1.11 | 76.2 |
| | 9-21 | 21.3 | 4.25 | 0.55 | 36.4 |
| | 21-40 | 30.3 | 4.46 | 1.99 | 20.8 |
| Родовище сірки Єзюрко, Польща | | | | | |
| 10 | 0-10 | 6214.3 | 1.75 | 0.65 | 47.6 |
| | 10-20 | 5969.4 | 2.12 | 0.74 | 48.6 |
| 11 | 0-10 | 5877.6 | 2.16 | 1.20 | 54.7 |
| | 10-20 | 3336.7 | 2.95 | 1.33 | 82.2 |
| 12 | 0-10 | 1132.7 | 3.9 | 1.36 | 35.6 |
| | 10-20 | 765.3 | 4.28 | 0.80 | 49.1 |
| 13 | 0-10 | 24.5 | 4.61 | 1.44 | 35.0 |
| | 10-20 | 19.4 | 4.6 | 1.36 | 53.3 |
| | 20-25 | 1.0 | 5.09 | 0.91 | 63.0 |

вища сірки “Єзюрко”, що є в 24–250 разів вищим за відповідний показник вмісту сульфатної сірки в зональних дерново-підзолистих ґрунтах дубово-соснового лісу, який становить 24,5 мг·кг⁻¹. Вміст сульфатної сірки у техногенних ґрунтах розрізів №6-8, які розташовані на відстані 120–180 м від бурових установок для виплавки сірки, наближений до показника контролю (табл. 1).

Як наслідок, ембріоземи ініціальні досліджуваних ділянок ПВС є сильно- і ультракислими: актуальна кислотність верхнього шару ґрунту коливається від 1,7 до 3,9 од. рН, тоді як незабруднені дерново-підзолисті ґрунти, прилеглі до досліджуваних техногенних територій, характеризуються слабкокислою реакцією ґрунту – у верхньому горизонті лісових ґрунтів величина рН дорівнювала 4,2–4,6.

Сильне закислення ґрунтів спричиняє їхню хімічну деградацію, мобілізацію важких металів, вторинний дефіцит фосфору і калію, значне пригнічення біотичної активності ґрунтів [5, 7, 8, 13], а також високий фітотоксичний ефект (табл. 2).

Аналіз схожості насіння тест-культури *Raphanus sativus* L. показав, що на сильнозабруднених сіркою ґрунтах показник проростання є нульовим (розрізи № 1–3, 10), а ФЕ – обернено пропорційним схожості насіння і становить 100% для цих ділянок. Морфометричні параметри свідчать про істотний вплив кислотності на ріст і розвиток кореня та пагона редиски (табл. 2).

ФЕ ґрунту площ ПВС знижується із віддаллю від безпосередніх місць викидів сірчаної руди та в місцях, де проводилося механічне збирання сірки (розрізи № 6–8), а для контрольних ділянок цей показник становить 10–15% (рис. 1, а).

Головним чинником підвищення показника ФЕ досліджуваних територій є висока концентрація сірки у ґрунтах та, як наслідок, сильна закисленість територій. Встановлено логарифмічну залежність ФЕ від вмісту сульфатної сірки у ґрунтах, в якій коефіцієнт кореляції становить $r=0,80$, що за шкалою Чеддока свідчить про значний взаємозв'язок даних параметрів (рис. 1, б).

Таблиця 2

Морфометричні параметри *Raphanus sativus* L. та фітотоксичність поверхневого шару ґрунтів на територіях підземної виплавки сірки

| Номер ґрунтового розрізу | Схожість насіння, % | Наявність пагонів, % | Довжина кореня, см | | Довжина пагона, см | | ФЕ, % |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|-------|
| | | | середня | максимальна | середня | максимальна | |
| Немирівське родовище сірки, Україна | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 4 | 80.0 | 33.3 | 0.6 | 1.5 | 0.4 | 0.8 | 70 |
| 5 | 3.3 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0 | 0 | 90 |
| 6 | 73.3 | 23.3 | 0.9 | 1.5 | 0.3 | 0.5 | 55 |
| 7 | 86.7 | 43.3 | 1.3 | 3 | 0.5 | 1 | 35 |
| 8 | 80.0 | 36.7 | 1.4 | 2 | 0.9 | 1.5 | 30 |
| 9 | 83.3 | 33.3 | 1.7 | 2.5 | 0.7 | 1 | 15 |
| Родовище сірки Єзюрко, Польща | | | | | | | |
| 10 | 0.00 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 11 | 3.33 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 75 |
| 12 | 50.00 | 6.7 | 0.9 | 1.5 | 0.3 | 0.5 | 55 |
| 13 | 80.00 | 40.0 | 1.8 | 3.5 | 0.6 | 1 | 10 |

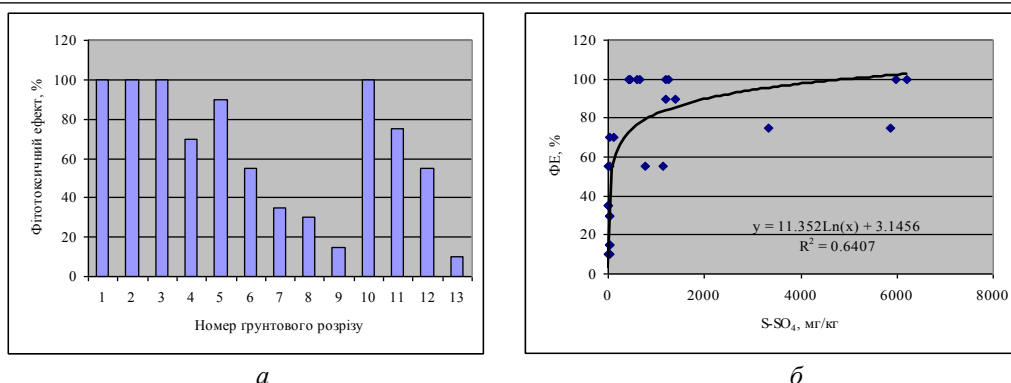


Рис. 1. Фітотоксичний ефект у межах розрізів №1–13 (а) та залежність фітотоксичного ефекту від вмісту сульфатної сірки у ґрунтах (б) на територіях підземної виплавки сірки.

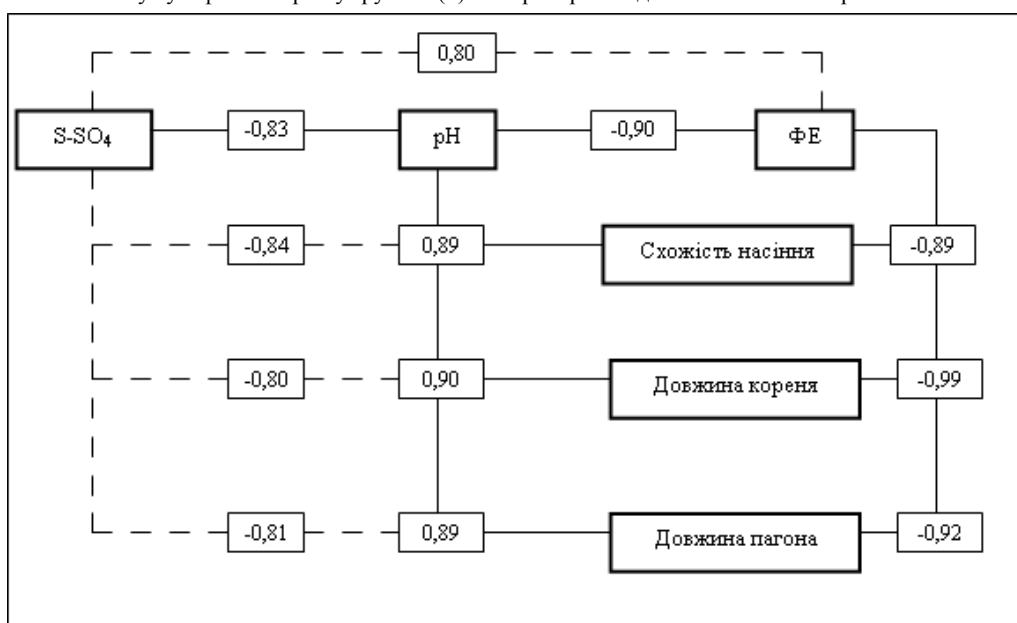


Рис. 2. Кореляційні зв'язки між морфологічними параметрами *Raphanus sativus* L. і фізико-хімічними властивостями ґрунтів на територіях підземної виплавки сірки.

Аналіз кореляційних зв'язків між параметрами тест-культури і фізико-хімічними властивостями ґрунтів дав змогу виявити тісні закономірності взаємозв'язків між ними (рис. 2). Значна кількість сірки як на поверхні, так і в ґрунтовому профілі ділянок ПВС, а також зумовлена нею кислотність є причиною високої фітотоксичності ґрунтів, нездатності насіння до проростання або інгібування їхнього росту, розвитку коренів і пагонів рослин. Майже 100-відсоткова залежність простежується між показником ФЕ ґрунту та процесами росту кореня, де коефіцієнт кореляції становить $r = -0,99$.

Отримані результати дають можливість зробити висновок, що фітотоксичність ґрунтів на техногенних ділянках ПВС, які практично позбавлені рослинного покриву, сповільнює процеси самовідновлення рослинного та ґрунтового покриву територій у

ході ендоекогенезу. У зв'язку з цим для дослідних ділянок ПВС Немирівського родовища та родовища Єзюрко доцільним було б проведення технічної рекультивациі, яка полягає у механічному зборі сірки та нанесенні шару ґрунтового покриву на забруднені техногенні ділянки.

1. *Берестецкий О.* Методы определения токсичности почв. К.: Урожай, 1971. С. 139–243.
2. *Ибрагимова Э., Баличиева Д., Алиев Э.* Экологическая и фитотоксическая оценка загрязнения сельскохозяйственных почв Крыма пестицидами и солями тяжелых металлов // *Екологія і ноосферологія.* 2006. Т. 17. № 1–2. С. 113–121.
3. *Кабилов Р., Сагитова А., Суханова Н.* Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // *Экология.* 1997. № 6. С. 408–411.
4. *Курачев В., Андроханов В.* Классификация почв техногенных ландшафтов // *Сибирский Экологич. Журн.* 2002. № 3. С. 255–261.
5. *Левик В.* Респіраційна активність ембріоземів техногенних територій сірчаних родовищ Львівщини // *Наук. зап. Держ. природозн. музею.* Вип. 25. Львів, 2009. С. 111–116.
6. *Лозановская И.Н., Орлов Д. С., Садовникова Л. К.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 1998. 287 с.
7. *Марискевич О., Левик В., Шнаківська І., Бжежінська М.* Оксидоредуктазна активність ґрунтів техногенних ландшафтів сірчаних родовищ Передкарпаття // *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол.* 2008. Вип. 24. С. 78–82.
8. *Марискевич О., Шнаківська І., Дідух О.* Формування ґрунтів у межах техногенного ландшафту Яворівського ДГХП “Сірка” // *Наук. вісн. Чернів. ун-ту. Сер. біол.* 2005. Вип. 251. С. 175–185.
9. *Симочко Л., Домбай І.* Фітотоксична активність ґрунту різних екосистем в умовах низинної частини Закарпаття // *Наук. вісн. Волинь. ун-ту. Сер. Біол. науки.* 2007. № 5. С. 254–259.
10. *Golda T.* Zmiany i rekultywacja środowiska glebowo-wodnego w górnictwie otworowym siarki // *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych.* 1995. Z. 418 (II). P. 725–730.
11. *Kołodziej B., Słowińska-Jurkiewicz A.* Analiza morfologiczna struktury gleby antropogenicznej na terenie po otworowej kopalni siarki // *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych.* 2005. Z. 505. P. 177–184.
12. *Levyk V., Brzezińska M.* The effect of pH on the soil respiration processes of technogenic territories of former sulphur mines in Nemyriv (Ukraine) and Jeziórko (Poland) // *BioPhys Spring 2008 – 7th International Workshop for Young Scientists.* Prague, 2008. P. 40–41.
13. *Levyk V., Maryshevych O., Brzezińska M., Włodarczyk T.* Dehydrogenase activity of technogenic soils of former sulphur mines (Yavoriv and Nemyriv, Ukraine) // *International Biophysics.* 2007. N 21 (3). P. 219–224.
14. *Martyn W., Sowińska J., Staszczuk S., Jońca M.* Analiza wybranych właściwości chemicznych i biologicznych gleb na polu górnictwym po zakończeniu wydobywania siarki w byłej kopalni „Jeziórko” // *Acta Agrofizyki.* 2002. N 73. P. 251–262.
15. *Turski R., Słowińska-Jurkiewicz A., Hetman J.* Zarays Gleboznawstwa. 1999. Lublin: Wydawnictwo AR. 245 p.

**SOIL PHYTOTOXIC ESTIMATION ON THE MINE TERRITORIES
OF UNDERGROUND SULPHUR MELTING OF PRE-CARPATHIAN
SULPHUR-BEARING BASIN****V. Levyk**

*Institute of Ecology of the Carpathians of NAS of Ukraine
4, Kozelnytska St., Lviv 79026, Ukraine
e-mail: v-italy@ukr.net*

Physico-chemical properties and phytotoxicity of soils on the mine territories of underground sulphur melting of Nemyriv (Ukraine) and Jeziórko (Poland) sulphur deposits are determined. Close correlation among soil sulphur content, soil acidity, soil phytotoxicity and plant germinating power, growth and development of *Raphanus sativus* L. is obtained. Soil phytotoxicity decrease self-restoration processes of vegetation and natural soil cover of technogenic territories under influence of natural succession.

Key words: technogenic soil, phytotoxic effect, sulphur, acidity, deposit.

**ФИТОТОКСИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИЯХ ПОДЗЕМНОЙ
ВЫПЛАВКИ СЕРЫ ПРЕДКАРПАТСКОГО СЕРОНОСНОГО БАСЕЙНА****В. Левик**

*Институт экологии Карпат НАН Украины
ул. Козельницкая, 4, Львов 79026, Украина
e-mail: v-italy@ukr.net*

Исследованы физико-химические показатели и фитотоксичность почв на территориях подземной выплавки серы Немировского месторождения (Украина) и месторождения Езюрко (Польша). Найдены тесные корреляционные связи между загрязнением почв серой, кислотностью, фитотоксическим эффектом почв и способностью семян к прорастанию, росту и развитию корней и побегов растений *Raphanus sativus* L. Фитотоксичность почв препятствует процессам самовосстановления растительного, а также естественного почвенного покрова техногенных территорий под влиянием сукцессий.

Ключевые слова: техногенные почвы, фитотоксический эффект, сера, кислотность, месторождение.

Стаття надійшла до редколегії 17.07.09

Прийнята до друку 10.02.10