

Фізіологія рослин

УДК 581.143 : 581.192 + 662.271.4

**ЕКОЛОГІЧНИЙ ОПИС ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЦЗФ ЗАТ
"ЛЬВІВСИСТЕМЕНЕРГО" ЯК ОБ'ЄКТА ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ**

В. Баранов

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: biofr@franko.lviv.ua*

Визначений мінералогічний склад, вміст мікроелементів і рідкоземельних елементів у ґрунтах породного відвалу вугільних шахт, водних стоках із нього, води на суміжних територіях та їх вплив на проростання насіння трав'янистих і деревних рослин. Вивчено зміни показників росту, вмісту пігментів фотосинтезу й активності перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) проростків при вирощуванні на різних зразках порід відвалу. Показано, що водні стоки повністю інгібують проростання насіння 12 видів рослин, при рості на водних витяжках різних зразків породи у проростків знижується інтенсивність росту та вміст пігментів фотосинтезу, що відбувається за рахунок активації ПОЛ і порушення при цьому гомеостазу клітин. Проведений генотоксикологічний аналіз зразків води і виявлено підвищення їх мутагенності.

Ключові слова: породний відвал, мінералогічний і хімічний склад, проростання насіння, пігменти фотосинтезу, перекисне окислення ліпідів, мутагенність.

Львівсько–Волинський вугільний басейн являє собою приклад одного з техногенно перевантажених, екологічно небезпечних районів України. Його географічні межі проходять по таких населених пунктах: Устилуг – Володимир-Волинський – Городок – Радехів – Буськ – Львів – Рава Руська. На цій території сформувалися три вугленосні райони: Південно–Західний (Львів, Жовква), Нововолинський (Володимир-Волинський, Нововолинськ, Устилуг), Червоноградський (Червоноград, Сокаль, Соснівка).

Червоноградський гірничо-промисловий район є основним вугледобувним районом басейну, і на нього припадає практично найбільше екологічно небезпечне навантаження, оскільки тут на відносно невеликій площі – 180 км² – розташовано дванадцять вугільних шахт і 211 га відведено під породні відвали. До 80% техногенного навантаження припадає на площу приблизно в 30 км², яка лежить у межах річки Бугу і Рати, де проживає більшість населення району й одночасно розташовано сім вугільних шахт і основний відстійник шахтних вод [3, 7].

У 1979 р. приблизно в трьох кілометрах від смт. Соснівка збудована і введена в дію центральна збагачувальна фабрика (ЦЗФ) ЗАТ „Львівсистеменерго”, на якій збагачується вугілля, що видобувається 10 вугільними шахтами. Річний видобуток вугілля становить близько 3,2 млн. т, фабрика переробляє 2,0 млн. т. При цьому готового продукту (вугільного концентрату), що відвантажується споживачеві, 1435,5 тис. т. У результаті технологічного процесу утворюються тверді та рідкі відходи. Тверді відходи становлять 1,8 млн. т/рік, рідкі відходи – 1,35 млн. т/рік. Відходи належать до 4 класу небезпеки [14, 15].

Основний породний відвал ЦЗФ має висоту 68 м і займає площу близько 75 га. Верхівка відвалу плоска з горбом посередині, висота якого 10–12 м. Навколо горба на верхівці відвалу розташовані досить великі за площею, плоскі відсіпки породи, які відріз-

няються за кольором – при обстеженні нами у 2006–2007 рр. на території породного відвалу ЦЗФ переважали породи в основному чотирьох кольорів – чорного, червоного, темно-сірого та сіро-жовтого, які і займали основну площу породного відвалу. Площа відвалу терасована на 5 терас, шириною приблизно 6–8 м, які утворилися за рахунок доріг, по яких їздять важковантажні машини. Між дорогами-терасами розташовані схили висотою 10–12 м, під кутом приблизно 45 градусів. Основну масу породи породного відвалу становлять алевритисті та алевритові аргіліти. Аргілітами називають осадові породи з групи глин, які не несуть явних слідів метаморфізму, не розмокають або розмокають дуже слабо у воді. За описом Бобровника [4] ці аргіліти виникли під водою, у водоїмі, що сполучалася з морем, та є, як і піщаники, з якими вони перешаровуються, основними складовими частинами Львівсько-Волинського вугленосного басейну. Наявність піриту (до 1–2%) в аргілітах відвалу свідчить про те, що водний басейн мав у своєму складі достатньо сірководню. Аргіліти в основній своїй масі від темно-сірого кольору до чорного, інколи попелясто-сірі. Навколо породного відвалу викопана неглибока дренажна канава та розташований невеликий став, що утворився за рахунок стоків з відвалу [1].

Водні стоки з відвалу спостерігалися навіть у бездощовий період у вигляді струмків: біля підніжжя відвалу за рахунок стоків сформувалися навіть невеликі стави. Сума річного стоку води з площі породного відвалу, розрахована за методом проф. Огієвського, становить $0,118 \cdot 10^6$ м³/рік із розрахунку $0,00375$ м³/с. Кислотність води із різних джерел, взятої у 2006 та 2007 рр., була такою: дистильована вода – рН 5,35, вода з крану в смт Соснівка – рН 7,65, вода з крану у Львові – рН 7,3, технічна вода (так звана оборотка) – рН 8,1, стічна вода з відвалу – рН 2,74, ставок біля відвалу – рН 2,74, вода дренажної канави – рН 2,7–2,9, ставок між відвалом і селом Межиріччя – рН 2,80.

Вміст елементів у воді, визначений хімічним методом [13] і методом полум'яної фотометрії на приладі ПФМ–ЗОМЗ, був такий: вміст Na, K у 5 разів більше; Mg, Ca в 10 разів; Cl в 1,5 разу більше; S у 20–30 разів більше, ніж ГДК. Найбільш ймовірно міграція важких елементів здійснюється підземними та надземними водами, оскільки навіть на відстанях 80–200–300 м від відвалу їх вміст у воді перевищує ГДК в кілька разів [12, 13].

Кислотність водних витяжок різних зразків породи, визначена на іонометрі “ЭВ-74”, мала такі величини рН: червона порода – 4,5; чорна – 3,3; сіра – 5,1; сіро-жовта – 3,0. Показники кислотності водних стоків і водних витяжок із породи вказують на безумовну необхідність вапнування ґрунту відвалу при його рекультивациі [11].

За мінералогічним складом у породі відвалу в середньому: аргіліту – 97%, алевроліту – 17–28%, піщанику – 2–20%, вугілля – 1–17%, піриту – 1%, вологість – 6–7%. Хімічний склад породи (середній з 4 видів) такий: SiO₂ – 56,2%; Fe₂SO₄ – 10,18%, Al₂O₃ – 23,71%; CaO – 0,99%; MgO – 0,73%; K₂O – 2,44%; Na₂O – 0,5%; SO₃ – 7,55%; TiO₂ – 1,09%. Вміст мікро- та ультрамікроелементів визначався методом атомно-адсорбційної фотометрії [10].

У табл. 1, 2 наведені результати визначення вмісту мікро- та ультрамікроелементів (всього визначено 21 елемент у відібраних 212 зразках ґрунту згідно з [6]), зокрема таких важких металів, як свинець, нікель, мідь, цинк, роль яких у житті рослин приблизно відома. Що стосується інших елементів, то їх значення для метаболізму рослин вивчено недостатньо. В той же час усі ці елементи є екологічно важливими факторами середовища, тому вивчення їх кількісного складу має важливе актуальне значення. ГДК для Pb становить 6 мг/кг ґрунту, Cu – 3 мг/кг, Ni – 4 мг/кг, Zn – 2 мг/кг, а як видно з результатів таблиць, вміст цих важких металів значно перевищує ГДК (при перерахунку за їх максимальним значенням) – свинцю в 45,5 разу, міді в 81,3 разу, нікелю в 19,8 разу і, нарешті, цинку в 31 раз. Слід відзначити, що в різних місцях відбору проб породи вміст елементів сильно відрізняється, оскільки порода привозиться з різних шахт району.

Основна площа відвалу на момент обстеження не мала практично жодної рослинності, за винятком окремих екземплярів сосни, берези, ожини, клена ясенелистого, осики, а з трав'янистих рослин спостерігався як основний аборигенний вид куничник, окремі екземпляри на самому відвалі, та більш масово коло підніжжя, хоча Башуцька і Кучерявий [3] вказують на наявність на відвалах і териконах району до 271 виду вищих судинних рослин. Таким чином постало питання про підбір асортименту стійких до едафічних умов відвалу рослин.

Було перевірено проростання насіння 12 видів деревних і трав'янистих видів рослин, як приклад наведені результати проростання тимофіївки (табл. 3). Пророщування насіння здійснювали в термостаті у чашках Петрі при температурі 22°C протягом 7 діб. Водні стоки з відвалу, вода зі ставків, дренажної канави повністю інгібували проростання насіння тимофіївки, гірчиці білої, люпину, ріпаку, розторопші лікарської, календули, огірків, кукурудзи, гледичії триколючкової, редиски, грястиці, конюшини, що є, на нашу думку, наслідком сумісної дії як високої кислотності, так і хімічного складу води. За дії води з-під крану, взятої в смт Соснівка, технічної води (так званої оборотки) з водо-

Таблиця 1

Вміст мікроелементів у породі відвалу ЦЗФ, г/т

Вміст елемента	Cu	Zn	Mn	Pb	Mo	Ni	Ba	Cr	Ti
Мінім.	12,59	0	86,78	7,638	0	16,53	106,8	31,188	2717
Середн.	89,04	35,7	2353,6	35,66	1,64	37,56	369,3	235,36	1234,2
Максим.	244,16	62,1	4484,4	273,24	3,97	79,48	583,5	2159,0	4595,2

Таблиця 2

Вміст рідкоземельних елементів у породі відвалу ЦЗФ, г/т

Вміст елемента	Be	Bi	Yb	Y	Sc	Ga	V	Sn
Мінім.	0,543	0	2,278	2,278	3,728	7,797	76,38	0
Середн.	2,645	9,435	4,65	44,11	15,02	25,43	151,88	4,48
Максим.	4,566	24,30	10,87	108,7	53,98	48,88	387,95	36,93

Таблиця 3

Вплив водних стоків породного відвалу та води суміжних територій на величину морфометричних показників 7-добових проростків тимофіївки

Досліджувані зразки води	Довжина кореня, мм			Маса кореня, мг			Довжина пагона, мм			Маса пагона, мг		
	M±m	%		M±m	%		M±m	%		M±m	%	
Тимофіївка												
Вода зі ставка біля відвалу	17,5±0,2	92,1	0,4	0,6±0,1	133,3	1,25	35±0,3	101,4	0,2	0,8±0,07	66,6	0,7
Вода дренажної канави	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Вода технічна	27,5±0,8	144,7	3,1	0,6±0,1	133,3	1,06	36,8±0,7	106,6	0,42	0,8±0,09	66,6	0,75
Вода ставка біля с.Межиріччя	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Вода водопровідна смт Соснівка	24,7±0,5	130	2,0	0,5±0,0	111,1	0,23	42,1±0,4	122,0	1,32	0,8±0,9	66,6	0,67
Стік води з відвалу	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Вода дистильована контроль	–34,5±0,9	100	–	0,45±0,1	100	–	19±0,1	100	–	1,2±0,6	100	–

гону ЦЗФ та води зі ставка коло підніжжя відвалу на проростання насіння та морфометричні показники проростків не спостерігалось певної закономірності – було виявлено як інгібування проростання насіння, довжини і маси пагона та кореня від 20 до 60%, так і незначне стимулювання окремих показників у різних рослин до 20–30%.

Як відомо, за дії стресів відбувається генерація активних форм кисню [11], яка викликає пошкодження мембран органодів клітин унаслідок перекисного окиснення ненасичених жирних кислот ліпідів мембран, що порушує цілісність мембран, збільшує їх проникність для сполук та іонів. Усе це різко порушує гомеостаз клітин [8, 10], причому активність ПОЛ регулюється як екзогенними, так і ендогенними факторами [11, 15]. У зв'язку з цим була вивчена активність перекисного окислення ліпідів (табл. 4) як можлива причина токсичності води відвалу. Активність ПОЛ визначалась у 7-добових проростків рослин, які пересаджувались на дослідні зразки води на 3 доби [18]. Вода стоків із відвалу, інші зразки води, які інгібували проростання всіх видів насіння, досить різко стимулювали активність ПОЛ – у редиски на 129–179%, а у огірків на 130–2081%, тобто спостерігалась зворотна залежність активності ПОЛ із впливом на проростання насіння.

Для визначення вмісту хлорофілів і каротиноїдів насіння пророщували у ґрунті, під яким лежали зразки породи, і через два тижні визначали вміст пігментів у ацетонівій витяжці [5], або пророщували насіння в чашках Петрі три доби в термостаті, далі виставляли на світло із заміною дистилату на стічні води, а через тиждень визначали вміст пігментів. Усі види водних стоків інгібували вміст пігментів на 60–80%, водні витяжки з породи(1:10) на 30–40% у проростках люпину та гірчиці, але у тимофіївки та календули було відзначено підвищення вмісту хлорофілів. Ці зміни вмісту пігментів відрізнялись у рослин при рості на різних породах, тобто спостерігалась певна видова специфічність.

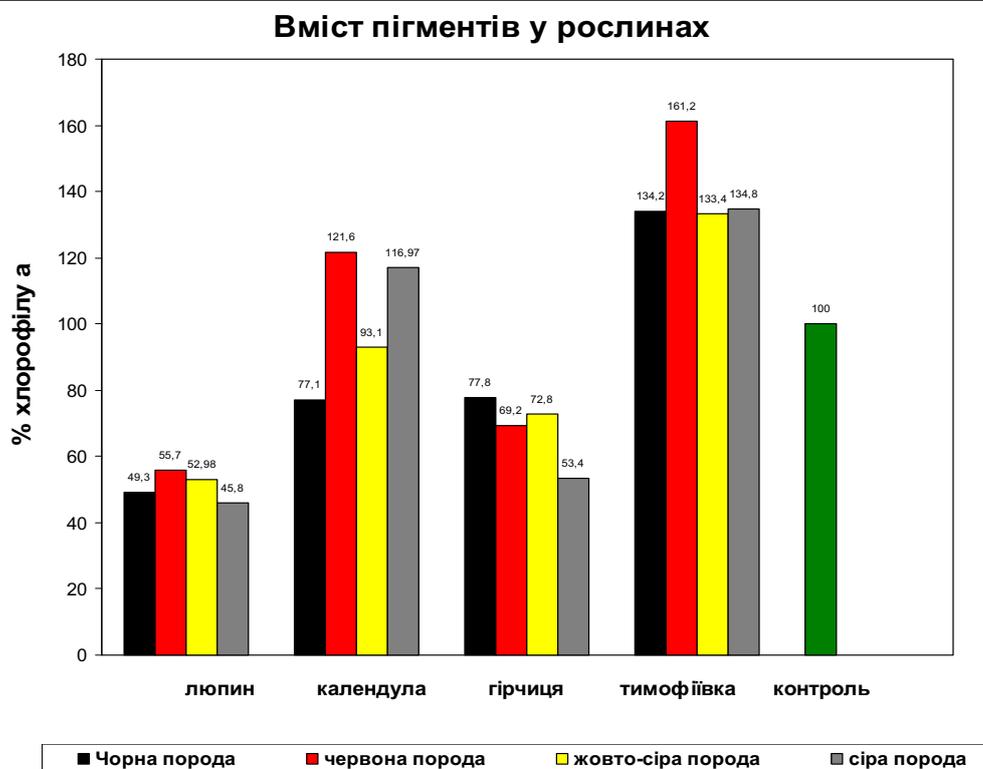
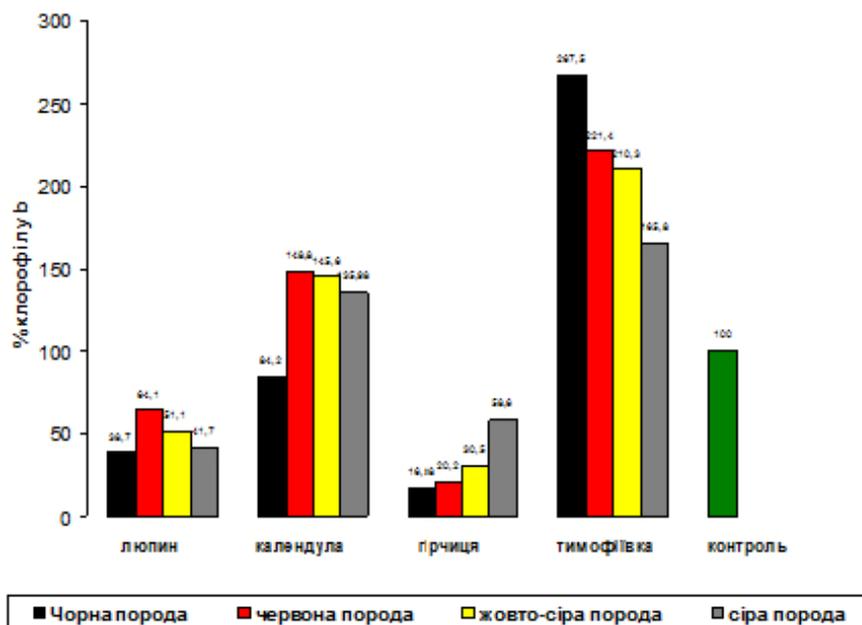
Враховуючи несприятливий склад породи та водних стоків із породного відвалу, а також несприятливу санітарно-екологічну ситуацію в оточуючих містах і селах [16], було проведено генотоксикологічне дослідження окремих зразків води – стік із відвалу, вода зі ставка біля нього, вода дренажної каналу, вода ставка біля с. Межиріччя. Аналіз проводили на індукцію генних мутацій у тесті Еймса з використанням гістидинзалежних штамів *Salmonella typhimurium* [9, 17]. Дослідження проводили на нативних зразках (без розведення та без концентрування). Як виявилось, рівень мутагенної активності можна оцінити 1 балом, реверсія по прототрофності здійснювалася від 5,3 до 7,8 разу більше порівняно з контролем [2]. Найвищі показники індукції генних мутацій виявлені зі ставка біля с. Межиріччя – показник реверсій був більший у 10 разів, ніж у контролі, і мутагенна активність у цьому випадку оцінюється в 2 бали.

Таким чином, у результаті роботи визначено мінералогічний, хімічний склад зразків породи, водних стоків із відвалу та води на суміжних територіях, а також показано,

Таблиця 4

Визначення активності перекисного окиснення ліпідів у 7-добових етиольованих проростках редису сорту „Французький сніданок” та огірків сорту „Парад” за дії стоків з породного відвалу та суміжних територій

Варіант	ПОЛ огірків		ПОЛ редиски	
	МДА мМ/г	%	МДА мМ/г	%
Контроль	0,012	100	0,037	100
Стік з відвалу	0,252	2081,3	0,068	179,6
Вода з дренажної каналу	0,055	452	0,055	148,6
Вода ставка біля відвалу	0,016	130,7	0,059	159,4
Вода ставка с. Межиріччя	0,019	162,7	0,048	129,7

Рис. 1. Вміст хлорофілу *a* в 14-добових проростках рослин при рості на породах відвалуРис. 2. Вміст хлорофілу *b* у 14-добових проростках рослин при рості на породах відвалу

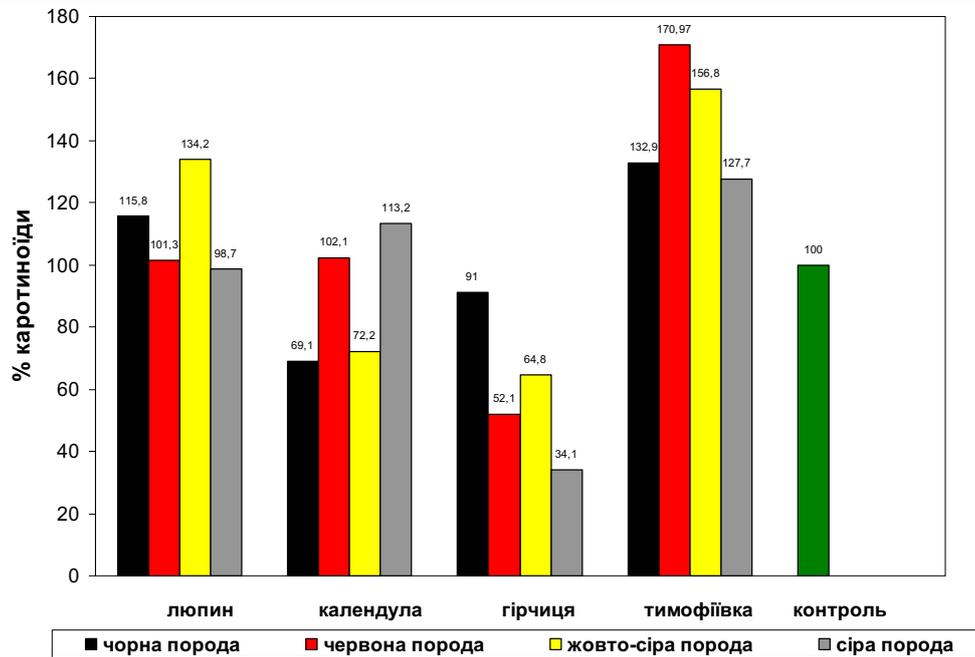


Рис. 3. Вміст каротиноїдів у 14-добових проростках рослин при рості на породах відвалу

що стічні води практично повністю, а водні витяжки з породи меншою мірою інгібували проростання насіння трав'янистих і деревних рослин та досить різко знижували вміст пігментів фотосинтезу, але збільшували активність ПОЛ. При визначенні генотоксичності стоків води із породного відвалу та на оточуючих його територіях було виявлено підвищення мутагенності цих зразків води. Отримані результати свідчать про безперечну необхідність проведення рекультивациі ґрунту [12] з попередньою нейтралізацією кислотності породи, підсипкою органічних компонентів та посадки трав і дерев – акумуляторів важких металів як засобу фітореємедіації ґрунту, що сприятиме зменшенню надходження важких металів у ґрунтові та поверхневі води зі стічними водами і тим самим поліпшенню екологічної ситуації у навколишньому середовищі.

1. Баранов В. І., Книш І. Б. Хіміко-мінералогічний склад порід відвалу вугільних шахт ЦЗФ "Львівсистемнеерго" та їх вплив на проростання насіння // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: Матеріали V міжнар. наук. конф. Донецьк, 2007. С. 36.
2. Баранов В., Боднар Л. Генотоксикологічний та фізіологічний аналіз водних стоків породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ "Львівсистемнеерго" // Онтогенез рослин в природному і трансформованому середовищі. Фізіолого-біохімічні та екологічні аспекти: Зб. тез III міжнар. конф. Львів, 2007. С. 201.
3. Башуцька У. Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району. Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. 178 с.
4. Бобровник Д. П., Болдирев Т. О., Іщенко А. М. та ін. Львівсько-Волинський кам'яно-вугільний басейн. К.: Вид-во АН УРСР, 1962. 145 с.
5. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практи-кум по физиологии растений. М.: Высш. шк., 1975. 392 с.
6. ГОСТ 17.4.4.02-84. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

7. Екологія Львівщини. 2005. Львів: Сполом, 2006. 119 с.
8. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Под ред. Е.Л. Кордюм. К.: Наук. думка, 2003. С. 111–127.
9. Ковальчук А. С., Случик В. М., Геращенко С. Б. Оцінка генетичного ефекту дії факторів хімічного виробництва // Цитологія і генетика. 1994. Т. 28. № 3. С. 41–47.
10. Курганова Л. Н., Веселов А. П., Гончаров Т. А. и др. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система защиты хлоропластов гороха при тепловом шоке // Физиология растений. 1997. Т. 44. № 4. С. 725–730.
11. Меньшикова Е. Б., Зеньков Н. К. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов // Успехи соврем. биологии. 1993. Т. 113. Вып. 4. С. 442–455.
12. Определение содержания тяжелых металлов в пробах почвы // Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., 1992. 32 с.
13. Правила проведення біологічної рекультивациі породних відвалів вугільних шахт України. Видання офіційне / Мінвуглепром України. К., 2007. 30 с.
14. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П. та ін. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. К., 2001. 48 с.
15. Сторожук В. М., Батлук В. А., Назарук М. М. Промислова екологія. Львів: Укр. академія друкарства, 2005. 547 с.
16. Терек О. І., Решиетіло С. Г., Величко О. І. та ін. Інтенсивність перекисного окислення ліпідів у паростках сої під дією емістиму С в умовах токсичного впливу іонів свинцю та кадмію // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2004. Вип. 37. С. 218–221.
17. Тимчасовий класифікатор токсичних промислових відходів і рекомендації по визначенню класу токсичності промислових відходів за № 4286-87 від 13.05.87.
18. Трахтенберг И. Опыт изучения биогеохимической провинции одного из горнопромышленных районов Западной Украины // Книга о ядах и отравлениях. Очерки токсикологии. К.: Наук. думка, 2000. С. 213–225.
19. Фоништейн Л. М., Абилов С. К., Бобринев Е. В. и др. Методы первичного выявления генотоксической активности загрязнителей среды с помощью бактериальных тест-систем. Методические указания. М., 1985. С. 32–35.
20. Heath R. L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation// Arch. Biochem. Biophys. 1968. N 25. P. 189–198.

**ECOLOGICAL SCOPE OF ROCK DUMP COAL MINES CCM CJ-SC
"LVIVSISTEMENERGO" AS SUBJECT TO PLANT TREES AND GRASS**

V. Baranov

*Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: biofr@franko.lviv.ua*

Mineralogical and chemical composition of soils rock dump coal mine of central concentrating mill closed joint-stock company "Lvivsistemenergo" is studied and water flows from him. The changes of photosynthetic pigments content, activity of peroxidation of lipids, conducted genotoxicological analysis of water flows and found out the increasing of they mutagenic activity.

Key words: rock dump, coal mines, mineralogical and chemical composition, water flow, seed germination, photosynthetic pigments, peroxidation of lipids.

Стаття надійшла до редколегії 07.11.07
Прийнята до друку 15.02.08