

ТОКСИКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДИ ДРЕНАЖНИХ КАНАВ І ЗОЛИ ЗОЛОВІДВАЛІВ ДОБРОТВІРСЬКОЇ ТЕС

В. Баранов², А. Баня¹, Л. Боднар², І. Блайда³, О. Карпенко¹

*¹Відділення фізико-хімії горючих копалин
Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії
імені Л.М. Литвиненка НАН України
вул. Наукова, 3а, Львів 79053, Україна
e-mail: e.v.karpenko@gmail.com*

*²Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: bio.lwiw@mail.ru*

*³Одеський національний університет імені І.І. Мечнікова
вул. Дворянська, 2, Одеса 65082, Україна
e-mail: iblayda@ukr.net*

Проведено генетичний і фізіолого-біохімічний аналіз води та золи з водосховища і дренажних каналів Добровірівської ТЕС (ДТЕС). Встановлено, що вміст важких металів у досліджуваних зразках значною мірою відповідає нормам ГДК, проте при порівнянні з аналогічними дослідженнями у 2010–2011 р. спостерігали поодинокі збільшення вмісту окремих металів. При проведенні фізіологічного аналізу спостерігали стимулювання морфометричних показників проростків *Brassica napus* L. на водній витяжці золи з концентрацією 25–50 г/л та збільшення вмісту пігментів фотосинтезу з концентрацією 25 г/л. Виявлено індукування хромосомних аберацій за дії золи з ДТЕС приблизно у 3–5 разів і за дії води з дренажних каналів та водосховища ДТЕС у 2–4 рази порівняно з контролем.

Ключові слова: теплоелектростанція (ТЕС), важкі метали (ВМ), зола, золовідвали, вода, токсикологічний аналіз.

Найбільшими забруднювачами атмосфери є теплоенергетика, промисловість, нафто- й газопереробна й транспорт. Теплові електростанції (ТЕС) виділяють в атмосферу гази, які містять оксиди сірки і азоту, попіл, важкі метали, відходами є зола, отримана при спалюванні вугілля [8]. Зола ТЕС містить важкі метали, які є одними з найбільш сильних по дії та поширенню токсикантами [1, 4, 11]. Частина техногенних викидів, що надходять у природне середовище у вигляді тонких аерозолів, переноситься на значні відстані й викликає глобальне забруднення. Інша частина надходить у безстічні водойми, де важкі метали накопичуються і стають джерелом вторинного забруднення [2].

Важкі метали (ВМ) накопичуються у ґрунті й повільно виводяться з нього. ВМ можуть адсорбуватися на поверхні ґрунтових колоїдних частинок шляхом неспецифічного зв'язування завдяки електростатичним силам, або внаслідок утворення між ними специфічних хімічних зв'язків [6, 7, 10, 12]. Багато ВМ мають змінну валентність і беруть участь в окислювально-відновних процесах, вони здатні переміщатися й перерозподілятися в середовищі життя, тобто мігрувати [13, 14]. При тривалому надходженні навіть відносно невеликих кількостей їх концентрація з часом може сягати дуже високих показників [5].

Добровірівська ТЕС є одним із найбільш сильних промислових забруднювачів довкілля у Львівській області [16, 17]. Відходи золи займають значні площі, а її вплив на

навколишнє середовище раніше не вивчали, тому метою нашої роботи був генотоксикологічний і фізіолого-біохімічний аналіз золи та води з водосховища і дренажних каналів Добротвірської ТЕС.

Матеріали та методи

Для проведення фізіологічних досліджень використовували проростки ріпаку озимого сорту „Микитинецький”. Насіння ріпаку стерилізували у слабкому розчині перманганату калію і пророщували у чашках Петрі на фільтрувальному папері, зволоженому розчинами за схемою: 1. Контроль (дистильована вода). 2. Вода з водосховища Добротвірської ТЕС (1:10). 3. Вода з дренажної каналу Добротвірської ТЕС (1:10). 4. Витяжка золи із золівідвалів Добротвірської ТЕС (1:10). Насіння проростало у термостаті при температурі 24°C протягом семи діб, після цього проводили аналіз морфометричних показників проростків. Половину проростків пророщували на світлі (під лампами денного світла, період досвічування 8 год) і через 3 доби визначали вміст пігментів фотосинтезу. За контроль приймали рослини, вирощені на дистильованій воді.

Масу проростків визначали зважуванням на електронних вагах (мг), висоту і довжину – за допомогою міліметрового паперу. Визначення вмісту пігментів фотосинтезу проводили в ацетоновій витяжці спектрофотометричним методом, вимірюючи оптичну густину витяжок за довжинами хвиль 662, 644, 450 та 445 нм, вміст пігментів визначали за формулами Ветштейна [8].

Вміст важких металів визначали у воді та золі. Наважку 50 мг золи розчиняли у 100 мл амонійоацетатного буфера рН 4,8, в якому розчиняються рухомі форми важких металів. Воду та витяжку для аналізу ВМ фільтрували крізь скляні фільтри Шота N3. Визначення ВМ проводили на атомно-адсорбційному спектрофотометрі ААС-130 зі селективними світлофільтрами.

Для визначення мутагенної активності досліджуваних проб, відібраних поблизу Добротвірської ТЕС, були проведені ана-телофазний тест на клітинах кореневої меристеми *Allium cepa* L. і тест на індукцію соматичної рекомбінації на *Drosophila melanogaster*. Для проведення ана-телофазного тесту виготовляли тимчасові давлені препарати корінців цибулі і фарбували ацетоарсеїном. Клітини аналізували на стадії анафази, коли відстань між ділянками хромосом на полюсах більша від розмірів самих хромосом, а також на стадії ранньої телофази – на початку утворення фрагмопласту. Досліджували нативний (без розведення і концентрування) зразок води та розведений у 10 разів дистиллятом, контролем слугувала дистильована вода. Основними типами аберацій, які виявляються ана-телофазним методом, є окремі фрагменти хромосом, що виникають у результаті делецій, і дицентричні хромосоми, які виникають у результаті транслокацій.

Принцип методу полягає у фіксуванні мозаїчних плям у *Drosophila melanogaster*, які виникають унаслідок індукції соматичної рекомбінації та переходу в гомозиготний стан маркерних генів. Для аналізу використовували дві лінії *Drosophila melanogaster* yellow (у – жовте тіло) і singed (sn – опалені щетинки), що несуть у гомозиготі рецесивні гени, які визначають забарвлення тіла, колір і форму щетинок. Проводили реципрокні схрещування між різними лініями (♀ у + ♂ sn та ♀ sn + ♂ у). Віргінних самок схрещували зі самцями у співвідношенні 40 ♀ : 40 ♂ на посудину. Через кожні 72 год (4 рази) батьків пересаджували у пробірки зі свіжим поживним середовищем, а в попередні пробірки додавали 2 мл досліджуваного розчину. Контролем служила дистильована вода. Одержували таким чином 3–4 повторності досліду, що дало змогу набрати необхідний об'єм вибірки особин.

У гетерозиготних самок у + // + sn та sn + // + у реєстрували мутантні ознаки. Відсоток рекомбінантів визначали за формулою:

$$\% \text{ рекомбінантів} = \frac{\text{кількість самок зі сом. рекомбінацією}}{\text{загальна кількість самок}} \times 100\%$$

Статистичну обробку результатів дослідження рекомбінантної активності проводили за коефіцієнтом Стюдента.

Результати і їхнє обговорення

При замірах рН води з різних джерел ТЕС протягом 2009–2011 рр. виявлена в основному нейтральна, або лужна реакція. Основною причиною незначного підлужнення є наявність оксидів лужних металів, завдяки чому відбувається зміна природного складу, зазвичай повне домінування техногенного кальцію, який у деяких випадках може становити близько 90% суми поглинутих основ. Наступним етапом досліджень було вивчення вмісту важких металів у воді дренажних каналів, водосховищі та золі золовідвалів ТЕС.

Аналізи ВМ, проведені протягом 2-х років (2009–2011), показали (табл. 1), що вміст важких металів у зразках води не є понаднормовим, за винятком трохи більшого вмісту свинцю, хрому і кадмію у воді дренажної каналу. Вміст важких металів у золі, за винятком кобальту, був меншим за ГДК для ґрунту, або кларкового вмісту [3, 9, 15].

Таблиця 1

Визначення вмісту важких металів у воді та золі дренажних каналів та водосховища Добровірівської ТЕС

Зразок	Cr, мг/л	Cu, мг/л	Pb, мг/л	Co, мг/л	Ni, мг/л	Cd, мг/л	Zn, мг/л	Mn, мг/л	Fe, мг/л
2009–2010 рр.									
Дренажна канава	0,021	<0,005	0,1489	<0,008	<0,0012	<0,002	<0,0008	<0,001	<0,03
Водосховище	0,002	0,0065	0,0701	<0,008	<0,0012	<0,002	<0,0008	<0,001	<0,03
ГДК питної води	0,01	0,005	0,03	0,1	0,01	0,001	0,1	0,1	0,1
2010–2011 рр.									
Дренажна канава	0,024	0,0147	0,082	<0,005	0,02329	0,017	0,015	0,0120	<0,03
Водосховище	0,011	<0,005	<0,1	<0,008	<0,0180	0,034	0,019	<0,003	<0,04
ГДК питної води, мг/л	0,01	0,005	0,03	0,1	0,01	0,001	0,1	0,1	0,1
Зразок	Cr, мг/кг	Cu, мг/кг	Pb, мг/кг	Co, мг/кг	Ni, мг/кг	Cd, мг/кг	Zn, мг/кг	Mn, мг/кг	Fe, мг/кг
У золі									
Зола ТЕС, м/кг	29	21.3	17.13	18.6	19.0	0.21	55.8	459.8	6393
ГДК для ґрунту, мг/кг	50	55	23	5.0	32	2–3	100	1500	Нв
Кларк, мг/кг ґрунту	83	20	10	18	58	0.5	50	850	38000

Примітка. Нв – нормативи відсутні.

Наступним етапом досліджень було вивчення впливу води та водних витяжок золи різної концентрації на ростові показники проростків ріпаку озимого (табл. 2, 3).

Як видно з отриманих результатів, при проростанні ріпаку озимого на водній витяжці золи з концентрацією 25–50 г/л спостерігали збільшення величин морфометричних показників, тоді як концентрація 100 мг/л виявила певну токсичну дію. Імовірно причиною цього було залуження середовища концентрацією золи у водній витяжці 100 мг/л, адже, як відомо з літературних джерел, низькі концентрації золи стимулюють, а високі інгібують ріст рослин. У свою чергу, це свідчить про те, що для стимуляції росту рослин слід користуватись оптимально підбраною концентрацією золи на одиницю площі ґрунту.

Наступним етапом досліджень було вивчення вмісту пігментів фотосинтезу у 10-добових проростків ріпаку за впливу зольних витяжок і води водосховища та дренажної каналу (табл. 3). Вміст пігментів у проростках ріпаку на воді з дренажної каналу Добровірівської ТЕС був менший наполовину від контролю, а у проростках, вирощених на воді з

водосховища, спостерігали показники, рівні з контролем. Це може свідчити про зниження негативного впливу важких металів на біоту при потраплянні в навколишнє середовище від самої ДТЕС завдяки наявності у водосховищі більшої кількості органічної речовини.

Таблиця 2

Морфометричні показники ріпаку озимого (*Brassica napus* L.)
за дії водних витяжок золи та води з різних джерел Добротвірської ТЕС

Зразок	Висота пагона,	Довжина кореня,	Маса пагона,	Маса кореня,
	см	см	мг	мг
2009–2010 рр.				
Контроль	3,5±0,22	2,5±0,11	27,2±2,4	23±4,0
Дренажна канава	5,9±0,13	4,3±0,31	61,5±7,1	38±5,6
Водосховище	5,6±0,47	3,6±0,45	63±5,6	32,5±4,0
Зола з Добр. ТЕС (25 г/л)	5,9±0,40	3,8±0,29	30,4±3,0	28,7±3,2
2010–2011 рр.				
Контроль	7,7±0,41	2,0±0,14	52,5±4,6	34,7±3,4
Зола (25 г/л)	8,5±0,74	2,0±0,25	55,3±5,3	25,4±9,8
Зола (50 г/л)	8,7±0,67	3,2±0,40	55,1±7,4	30,0±2,6
Зола (100 г/л)	6,2±0,49	2,2±0,18	36,5±4,1	16,5±2,2

За дії водних витяжок золи у концентрації 25 мг/л спостерігали незначне зниження вмісту пігментів, причому в основному за рахунок вмісту хлорофілу *b* та каротиноїдів. При підвищенні концентрації золи вміст пігментів фотосинтезу знижувався. Таким чином, зниження концентрації хлорофілу в листках рослин за дії високих концентрацій золи може слугувати певною біоіндикаторною ознакою токсичності середовища.

Таблиця 3

Вміст пігментів фотосинтезу у проростків ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) за росту
на воді різних джерел і водних витяжках золи Добротвірської ТЕС (ДТЕС)

Зразки	Вміст хл. <i>a</i>	Вміст хл. <i>b</i>	Вміст каротиноїдів	Загальний вміст пігментів
	мг/г сирої маси	мг/г сирої маси	мг/г сирої маси	мг/г сирої маси
2009–2010 рр.				
Контроль	7,25±0,49	4,52±0,30	3,09±0,18	14,8±0,33
Дренажна канава	3,98±0,12	2,72±0,14	2,15±0,23	8,82±0,51
Водосховище	6,56±0,57	9,03±0,59	3,06±0,28	18,6±0,18
Зола (25 г/л)	7,77±0,32	5,52±0,41	2,63±0,42	15,9±0,29
2010–2011 рр.				
Контроль	4,71±0,22	4,42±0,34	3,14±0,62	9,44±0,44
Зола (25 г/л)	4,36±0,53	3,22±0,37	3,05±0,40	7,88±0,19
Зола (50 г/л)	3,41±0,17	2,39±0,12	3,02±0,29	6,10±0,24
Зола (100 г/л)	3,23±0,15	2,04±0,26	2,55±0,11	5,47±0,21

Також було проведено низку генетичних тестів, спрямованих на визначення мутагенного впливу зразків води і золи ДТЕС на рослинні та тваринні об'єкти. Зокрема, було визначено хромосомні аберації в метафазних клітинах *Allium cepa* L., індукованих досліджуваними зразками. При визначенні мутагенної активності на тест-об'єкті *A. cepa* виявлено різні порушення у правильному розходженні хромосом до полюсів (відставання хромосом, утворення одинарних розривів і парних фрагментів та мостів), що може бути викликано делеціями та транслокаціями хромосом. Також спостерігали збільшення кількості хромосомних аберацій щодо спонтанного рівня у 3–5 разів.

Наступним етапом дослідження було визначення мутагенної активності досліджуваних проб води та золи за допомогою тесту на визначення індукцій соматичної рекомбінації на *Drosophila melanogaster* (табл. 5).

Таблиця 4

Рівень хромосомних аберацій у метафазних клітинах *Allium cepa* L.,
індукованих досліджуваними зразками

Зразки	Всього анателофаз	Кількість аномальних анателофаз						M±m	t	p
		Абсолютна кількість	—		[□	інші			
2009-2010 pp.										
Контроль	337	2	2	2	—	—	—	0,67±0,06	—	—
Дренажна канава	320	8	5	1	1	1	—	5,22±0,14	25,23	>0,95
Водосховище	326	9	7	2	—	—	—	4,13±0,12	28,15	>0,95
Зола з ДТЕС	312	14	11	2	1	—	—	5,64±0,09	46,31	>0,95
2010-2011 pp.										
Контроль	325	4	2	2	—	—	—	1,3±0,33	—	—
Вода з ДТЕС (канал)	313	8	5	1	1	1	—	2,66±1,20	25,23	>0,95
Водосховище	337	10	6	3	1	—	—	3,31±1,45	28,15	>0,95
Зола з ДТЕС	319	15	9	4	1	1	—	5,00±2,08	46,31	>0,95

Таблиця 5

Індукція соматичних рекомбінацій у *Drosophila melanogaster* за дії досліджуваних зразків

№ п/п	Зразок	Загальна кількість досліджених самок	Кількість самок зі соматичним мозаїцизмом	Відсоток самок зі соматичним мозаїцизмом	t	p
2009-2010 pp.						
1.	Контроль	1100	2	0,2±0,37	—	—
2.	Дренажна канава	1033	1	0,082±0,87	0,13	0,01
3.	Водосховище	1056	—	—	—	—
4.	Зола ДТЕС	1053	2	0,090±0,44	1,18	0,02
2010-2011 pp.						
1.	Контроль	1200	3	0,136±0,93	—	—
2.	Дренажна канава	1145	1	0,074±0,07	0,29	0,01
3.	Водосховище	1173	1	0,052±0,12	0,16	0,01
4.	Зола ДТЕС	1180	3	0,102±0,17	1,12	0,02

При визначенні індукції соматичної рекомбінації у самок дрозофіл з отриманих даних видно, що кількість самок зі соматичним мозаїцизмом достовірно не відрізнялася від контролю. Ці результати свідчать про відсутність потенційних канцерогенних властивостей у досліджуваних проб води та золи.

Проведена генотоксикологічна і фізіологічна оцінка проб води та відходів золи Добротвірської ТЕС. Вміст важких металів у досліджуваних зразках значною мірою відповідає нормам ГДК, проте порівняно з аналогічними дослідженнями у 2010–2011 pp. спостерігалось поодинокі збільшення вмісту окремих металів: дренажна канава – (Cu – 3%; Ni – 19%; Cd – 8%; Zn – 18%; Mn – 12%); водосховище – (Cr – 5,5%; Ni – 18%; Cd – 17%; Zn – 27,3%). При проведенні фізіологічної оцінки проб води та золи ДТЕС спостерігали стимулювання морфометричних показників у варіанті з водною витяжкою золи у концентрації 25 г/л порівняно з контрольним варіантом, а вміст пігментів фотосинтезу дорівнював контролю в даному варіанті. Виявлене індукування хромосомних аберацій за дії золи з ДТЕС приблизно у 3–5 разів і за дії води з дренажних каналів та водосховища ДТЕС у 2–4 рази порівняно з контролем. Моніторинг протягом 2009–2011 pp. суттєвих відмінностей в індукції мутацій не виявив. Підсумовуючи результати фізіологічних і генотоксичних досліджень, можна стверджувати, що досліджені зразки води та золи Добротвірської ТЕС, хоча і виявили незначні відхилення від контролю, проте не мають суттєвого негативного впливу на рослини та здоров'я людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Абилев О. К., Порошенко Г. Г.* Ускоренные методы прогнозирования мутагенных и бластомогенных свойств химических соединений // *Токсикология: Итоги науки и техники*. ВИНТИ. 1986. 14. 171 с.
2. *Бигалиев А. Б.* Генетические эффекты ионов металлов. Алма-Ата: Наука, 1986. 132 с.
3. *Виноградов А. П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555–571.
4. *Джохадзе Т. А., Лежава Т. А.* Изучение структурных мутаций хромосом, индуцированных солями тяжелых металлов, при старении *in vivo* и *in vitro* // *Генетика*. 1994. 30. № 12. С. 1630–1632.
5. *Ермаченко Л. Б.* Особенности нормирования солей и паров ртути в атмосфере и их влияние на генеративную функцию животных // *Гигиена окружающей среды: тез. докл. республ. науч. конф.* К., 1986. С. 100–101.
6. *Ловкова М. Я., Рабинович А. М., Пономарева С. М., Аузун Г. Н.* Почему растения лечат. М.: Наука, 1989. 256 с.
7. *Макарчук Я. М., Кругликова Л. А., Йсаевская Л. С.* Влияние эфирных масел на лигандные формы гемоглобина животных со свинцовой интоксикацией // 3-тя Укр. конф. з мед. ботаніки: тез. доп. К.: Наук. думка, 1992. Т. 1. С. 94.
8. *Мусієнко М. М., Паришкова Т. В., Славний П. С.* Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К.: Фітосоціоцентр, 2001. С. 49-50.
9. *Соколовский В. В., Новикова Е. Ф., Федорова В. М., Зайцева Я. К.* Влияние ионов ртути на способность белков крови к связыванию разных форм аскорбиновой кислоты // *Вопр. мед. химии*. 1989. Т. 29. № 3. С. 96–100.
10. *Clarke F. W., Washington H. S.* The Composition of the Earth's Crust. U.S. Dep. Interior, Geol. Surv. 770 (1924), 518.
11. *Hea Z. L., Yanga X. E., Stoffellab P. J.* Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment // *Trace Elements in Medicine and Biology*. 2005. Vol. 19. P. 125–140.
12. *Jendryczko A., Drozd M.* Genotoksyczność jonów metali // *Wiad. Lek.* 1987. Vol. 40. N 8. P. 549–553.
13. Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals. Geneva: WHO, 1980. 205 p.
14. <http://kref.ru/infoekologicheskoepravo/136066/2.html>
15. http://coolreferat.com/Роль_тяжелых_металлов_в_экофере_часть=5
16. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE
17. http://dei.lviv.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=512&Itemid=145
18. lib.exdat.com/tw_files2/urls_2/159/d-158981/7z-docs/1.pdf “Екологія Львівщини” 2009 р.

**TOXICOLOGICAL ANALYSIS OF WATER DRAINAGE AND ASH
DUMP DOBROTVIR THERMAL POWER STATION****V. Baranov², A. Banya¹, L. Bodnar², I. Blyda³, O. Karpenko¹**¹*Department of Physico-Chemistry of Combustive Minerals of InPOCC NAS of Ukraine
3a, Naukova St., Lviv 79053, Ukraine
e-mail: e.v.karpenko@gmail.com*²*Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: bio.lwiw@mail.ru*³*I. Mechnikov National University of Odessa
2, Dvoryanskaya St., Odessa 65082, Ukraine
e-mail: iblayda@ukr.net*

The conducted genetic and physiological and biochemical analyzes of water and ash from the reservoir and drainage ditches Dobrotvir thermal power station (DTPS). It was established that the content of heavy metals in the studied samples is largely complies with the maximum allowable concentration (MAC), but when compared with similar surveys in 2010–2011 observed increase is isolated to individual metals. In conducted the physiological analyzes of stimulation observed morphometric parameters of *Brassica napus* L. seedlings in the aqueous extract of ash concentration of 25–50 g/l, and an increase in the content of photosynthetic pigments concentration of 25 g/l. We found that the induction of chromosomal aberrations for the actions of ash DTPS about 3–5 times and by the action of water from drainage ditches and reservoirs DTPS 2–4 times compared with the control.

Keywords: thermal power station (TPS), heavy metals (HM), ash, ash dumps, water, toxicological analysis.

**ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДЫ ДРЕНАЖНЫХ КАНАВ И ЗОЛЫ
ЗОЛОТВАЛА ДОБРОТВОРСКОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ****²Баранов В., ¹Баня А., ²Боднар Л., ³Блайда И., ¹Карпенко О.**¹*Отделение физико-химии горючих ископаемых
Института физико-органической химии и углехимии
имени Л.М. Литвиненко НАН Украины
Научная 3а, Львов 79053, Украина
e-mail: e.v.karpenko@gmail.com*²*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: bio.lwiw@mail.ru*³*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова
ул. Дворянская, 2, Одесса 65082, Украина
e-mail: iblayda@ukr.net*

Проведен генетический и физиолого-биохимический анализ воды и золы из водохранилища и дренажных канав Добротворской ТЭС (ДТЭС). Установлено, что содержание тяжелых металлов в исследованных образцах в значительной мере соответствует нормам ПДК, однако при сравнении с аналогичными исследованиями в 2010–2011 г. наблюдалось одиночное увеличение содержания отдельных металлов. При проведении физиологического анализа наблюдали стимулирование морфометрических показателей проростков *Brassica napus* L. на водной вытяжке золы с концентрацией 25–50 г/л и увеличение содержания пигментов фотосинтеза с концентрацией 25 г/л. Выявлено индуцирование хромосомных aberrаций при действии золы из ДТЭС примерно в 3–5 раз и при действии воды из дренажных канав и водохранилища ДТЭС в 2–4 раза по сравнению с контролем.

Ключевые слова: теплоэлектростанция (ТЭС), тяжелые металлы (ТМ), зола, золоотвалы, вода, токсикологический анализ.