

УДК 575.224.4:504.5

## **Цитогенетична оцінка рівня мутагенного забруднення ґрунту викидами Бурштинської ТЕС**

Якимчук Р.А.

**Cytogenetic assessment of the level of soil mutagenic pollution by Burshtynska TPS emissions. – R.A. Yakymchuk.** – A cytogenetic analysis of cells of the root meristem of winter wheat seedlings influenced by soil contaminants of Burshtynska TPS and number 1 is done. It was determined the increasing level of chromosomal aberrations in 1,5-2,5 and 1,8-3,0 times respectively. The highest frequency is determined in 3 and 5 km zone of soil mutagen influence and slag heap. Spectrum of chromosomal aberrations are mostly represented by single and paired fragments and dicentric bridges. Elevated level of mutation found near Burshtynska TPS indicates the possible negative genetic effects on organisms by emissions from stationary sources of heat energy and requires further monitoring of the territories related to thermal power stations of Ukraine.

**Keywords:** chromosomal aberrations, genetic effects, mutagens, *Triticum aestivum* L., mitosis deviation.

**Address:** Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Natural Sciences and Geography Department, Chair of Biology and methods of teaching, 20300, Uman, Sadova str, 2.

**Цитогенетична оцінка рівня мутагенного забруднення ґрунту викидами Бурштинської ТЕС. – Р.А. Якимчук.** – Проведено цитогенетичний аналіз клітин кореневої меристеми проростків озимої пшениці, які зазнали впливу забруднювачів ґрунту Бурштинської ТЕС та шлаковідвалу № 1. Встановлено підвищення в 1,5-2,5 та 1,8-3,0 рази, відповідно, рівня хромосомних аберацій. Найвища їх частота виявлена за умов впливу мутагенів ґрунту 3- і 5-км зони і шлаковідвалу. Спектр хромосомних перебудов переважно представлений одиничними і парними фрагментами й дицентричними мостами. Підвищений мутаційний рівень, виявлений поблизу Бурштинської ТЕС, свідчить про можливі негативні генетичні наслідки впливу на організми викидів зі стаціонарних джерел теплоенергетики та потребує подальшого проведення моніторингу територій, прилеглих до теплових електростанцій України.

**Ключові слова:** хромосомні аберації, генетичні наслідки, мутагени, *Triticum aestivum* L., порушення мітозу.

**Адреса:** Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини, природничо-географічний факультет, кафедра біології та методики її навчання, 20300, м. Умань, вул. Садова, 2. e-mail: peoplenature@rambler.ru

## **Вступ**

Екологічна ситуація, яка склалася в Україні, характеризується значним антропогенним навантаженням на довкілля у вигляді мутагенів фізичної та хімічної природи. Тотальне забруднення ксенобіотиками атмосферного повітря, ґрунту, питної води та продуктів харчування стало причиною генетично обумовленої патології, що проявляється у вроджених вадах розвитку, цитогенетичних порушеннях у статевих і соматичних клітинах [11].

Одним із основних забруднювачів біосфери промислових міст є теплоенергетика, частка якої сягає 27-32 % від загального об'єму забруднюючих викидів, які за останні роки досягли 100 млн. т [10]. Експлуатація теплових електростанцій супроводжується вивільненням у довкілля низки мутагенів, серед яких важкі метали, радіоізотопи, бенз(а)пірен, діоксини та інші хімічні канцерогени [19]. Теплові електростанції у порівнянні з нормально функціонуючими атомними електростанціями є більш небезпечними джерелами радіаційного забруднення, адже додаткові дози опромінення, які отримує населення поблизу ТЕС в 40 разів вищі за дози, спричинені ядерними реакторами [7, 8, 15].

Вирішення екологічних проблем у зв'язку із забрудненням навколишнього середовища викидами ТЕС вимагає розробки та впровадження на територіях, прилеглих до стаціонарних джерел теплоенергетики, системи різного роду моніторинрів. Більшість таких досліджень спрямована на вивчення рівня накопичення важких металів [20], радіоізопоів [5] у ґрунті, водоймах і рослинах в залежності від відстані до джерела забруднення. В системі біологічного моніторингу важливе місце займають генетичні дослідження, які дають можливість оцінити на клітинному й молекулярному рівнях наслідки одночасного впливу кількох стрес-факторів для ряду послідовних поколінь [3, 4, 11]. З метою планомірної та ефективноі ліквідації чи мінімізації шкідливих антропогенних наслідків забруднення територій, необхідно проводити систематичну діагностику якості ґрунтового покриву, який фіксує основні тенденції довготривалих процесів забруднення [17].

З цією метою було вивчено мутагенну активність забруднювачів ґрунту прилеглої до Бурштинської ТЕС території за частотою і спектром хромосомних аберацій.

### **Матеріал та методики**

Для визначення мутагенної активності забруднювачів ґрунту території, прилеглої до Бурштинської ТЕС, проведено цитогенетичний аналіз меристематичних клітин первинних коренів проростків озимої пшениці (*Triticum aestivum* Linnaeus, 1753) сортів Альбатрос одеський і Зимоярка. Насіння впродовж 40 год витримували у вологому ґрунті, взятому на відстані 1, 3, 5 і 12 км від джерела забруднення по осі перенесення повітряних мас та поблизу шлаковідвалу № 1. Відбір ґрунтових зразків здійснювали відповідно до стандартних методик [1] та вимог Держстандарту № 17.04.3.01.83, № 17.4.4.02.84.

Зважаючи на те, що ґрунти Полтавщини не зазнали суттєвого радіонуклідного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС та вміст важких металів в декілька разів нижчий від гранично допустимих концентрацій [16], контролем слугував ґрунт, взятий в межах с. Сватки Гадяцького р-ну Полтавської обл. Аналіз на визначення вмісту важких металів у зразках ґрунту проведено у відділі агроєкології та аналітичних досліджень ННЦ «Інститут землеробства НААН України». Концентрації рухомих форм свинцю у ґрунті територій прилеглих до ТЕС та шлаковідвалу № 1 складала 1,0-1,5 ГДК та перевищували рівень контролю в 1,6-3,3 рази.

Насіння пророщували за температури 24-26 °С. Первинні корені завдовжки 0,8-1,0 см фіксували в «оцтовому алкоголі» й піддавали мацерації дією 1 н розчину соляної кислоти. З апікальної меристеми коренів, пофарбованих ацетоорсеїном, виготовляли тимчасові давлені препарати. Під час визначення частоти порушень мітозу та хромосомних аберацій до уваги брали клітини, які перебували в анафазі та ранній телофазі. Вибірка становила не менше як 1000 клітин для кожного варіанту.

### **Результати та обговорення**

Україна посідає в Європі одне з перших місць за кількістю викидів шкідливих речовин. В Івано-Франківській області їх обсяги сягають 0,1-0,4 т/га на рік, що прирівнює її по забрудненості до високопромислових областей південно-східного регіону країни [9]. Процес спалювання вугілля є головним джерелом надходження в біосферу багатьох важких металів та додатковим фактором підвищення природного радіаційного фону.

Сумарна концентрація металів на тонну палива складає до 500 г. Враховуючи, що за всю історію людства спалено 130 млрд. т вугілля [13], то на поверхню ґрунту впродовж цього періоду винесено та додатково включено в кругообіг 65 млн. т металів. Утворені в результаті піролізу вугілля шлак і зола містять в середньому в 7-10 разів більше первинних радіонуклідів, ніж ґрунт (калію-40 – 400 Бк · кг<sup>-1</sup>, урану-238 і 235 – по 150 Бк · кг<sup>-1</sup>) [7]. Летка зола виноситься гарячими газами і частково потрапляє в атмосферу й адсорбується поверхнею ґрунту [5]. Тому припускаємо, що основними мутагенами, які забруднюють прилеглі до Бурштинської ТЕС території є важкі метали й природні радіоізотопи.

Розроблена на даний час система еколого-генетичного моніторингу передбачає біоіндикацію мутагенів довкілля за допомогою цитогенетичного аналізу. Його істотною перевагою є можливість отримати мутагенну оцінку природних середовищ незалежно від складу забруднюючих речовин [4]. Для проведення моніторингу реального забруднення середовища потенційно небезпечними в генетичному відношенні сполуками найбільш підходять рослинні тест-системи, до переліку яких включено м'яку пшеницю (*T. aestivum L.*) [2, 12].

Аналіз частоти хромосомних аберацій в меристематичних клітинах коренів озимої пшениці, насіння якої пророщено в зразках ґрунту поблизу Бурштинської ТЕС, показав її зростання у порівнянні з контролем в 1,9-2,5 рази для сорту Альбатрос одеський та в 1,5-2,4 рази для сорту Зимоярка (табл.1). Найбільшу кількість хромосомних аберацій зафіксовано за умов впливу забруднень ґрунту 3-5-кілометрової зони. Суттєвого перевищення частоти абераційних клітин проростків, які зазнали дії факторів ґрунту, відібраного на відстані 1 та 12 км від джерела забруднення, у порівнянні з контрольним рівнем, не відмічено. Однак забруднення ґрунту в межах 1 км від ТЕС викликало у меристемі коренів проростків сорту Зимоярка 1,47±0,10 % клітин з хромосомними порушеннями, що достовірно перевищує показники контролю (0,75±0,25 %). Аналізи вмісту токсичних елементів у ґрунті поблизу Бурштинської ТЕС за даними інших авторів [5, 20] показали також їх максимальне накопичення в межах відстаней 3-8 км від джерела забруднення за напрямком панівних вітрів. Свинець, навіть у невисоких концентраціях, є одним із найнебезпечніших забруднювачів довкілля, який здатний пригнічувати репараційні процеси, посилюючи тим самим генетичні наслідки впливу низьких доз радіації [6, 14, 22]. На основі одержаних результатів можна припустити, що підвищений рівень хромосомних аберацій,

Таблиця 1

Частота і спектр хромосомних аберацій в озимій пшениці за дії мутагенних забруднень ґрунтів  
зони впливу Бурштинської ТЕС

Frequency and spectrum of chromosome aberrations in winter wheat when mutagen soil pollution occurs in the area of Burshtynska TPS

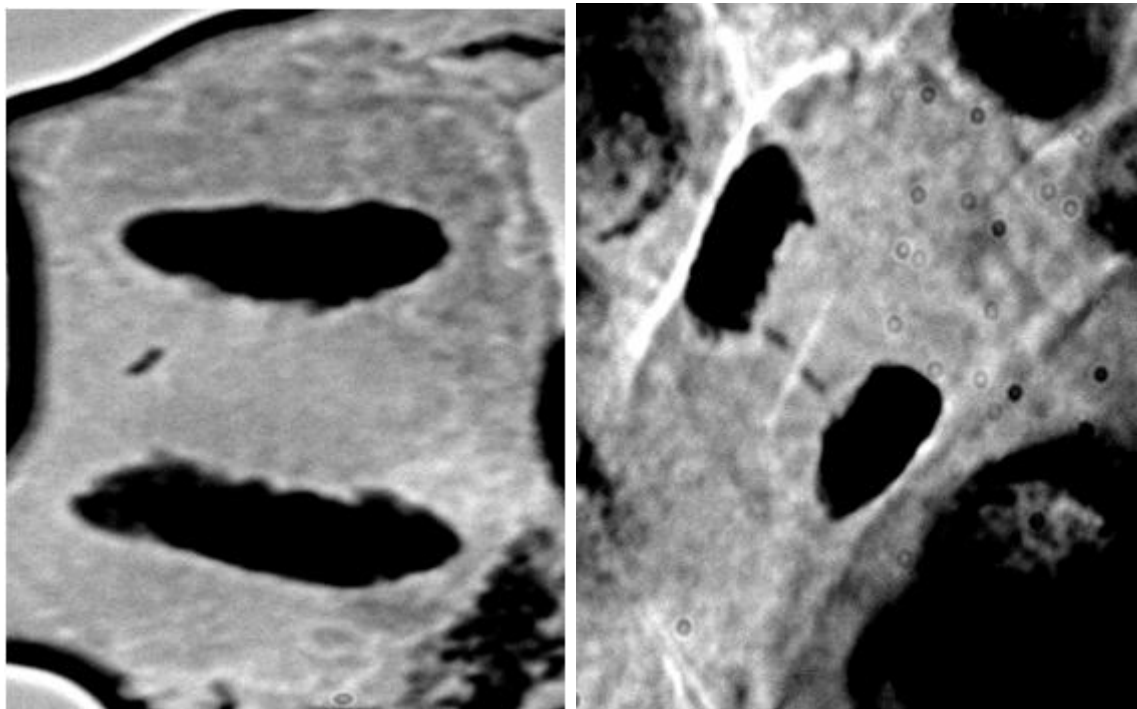
Місце відбору зразків	Вивчено		Мітози з порушеннями і хромосомними абераціями		Спектр порушень мітозу та хромосомних аберацій										
	коренів, шт.	ана-телофаз мітозів, шт.	шт.	%	фрагменти		мости		мости + фрагменти		мікроядра		відстаючі хромосоми		
					шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	
Альбатрос одеський															
с. Сватки Полтавської обл. (контроль)	24	1291	7	0,54±0,22	1	0,08	6	0,47	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
1 км від ТЕС	18	1195	12	1,00±0,29	3	0,25	7	0,59	0	0,00	2	0,17	0	0,00	
3 км від ТЕС	18	1282	13	1,01±0,28	5	0,39	5	0,39	1	0,08	1	0,08	1	0,08	
5 км від ТЕС	24	1248	17	1,36±0,33*	4	0,32	13	1,04	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
12 км від ТЕС	18	1328	15	1,12±0,29	9	0,68	4	0,30	0	0,00	0	0,00	2	0,15	
Шлаковідвал № 1	15	1101	18	1,63±0,38*	6	0,55	11	1,00	0	0,00	0	0,00	1	0,09	
Зимоярка															
с. Сватки Полтавської обл. (контроль)	24	1200	9	0,75±0,25	5	0,42	4	0,33	0	0,00	0	0,00	0	0,00	
1 км від ТЕС	15	1496	22	1,47±0,10*	5	0,33	13	0,87	1	0,07	1	0,07	2	0,13	
3 км від ТЕС	16	1047	19	1,82±0,41*	5	0,48	10	0,96	3	0,29	0	0,00	2	0,19	
5 км від ТЕС	18	1350	23	1,70±0,35*	11	0,82	9	0,67	0	0,00	2	0,15	1	0,07	
12 км від ТЕС	18	1098	12	1,10±0,31	6	0,55	5	0,46	0	0,00	0	0,00	1	0,09	
Шлаковідвал № 1	15	1063	14	1,32±0,35	8	0,75	6	0,56	0	0,00	0	0,00	0	0,00	

\*Різниця з контролем статистично вірогідна за  $P < 0,05$

викликаний забруднювачами ґрунту, є результатом синергічної дії щонайменше двох мутагенних чинників – свинцю та первинних радіонуклідів.

Зростання рівня цитогенетичних порушень виявлено також за умов впливу поллютантів ґрунту в межах шлаковідвалу № 1. Частота клітин з хромосомними порушеннями знаходиться на рівні  $1,63 \pm 0,38$  % у пшениці сорту Альбатрос одеський і  $1,32 \pm 0,35$  % – у сорту Зимоярка, що в 3,0 та 1,8 рази перевищує рівень контролю.

Спектр хромосомних аберацій, індукований адсорбованими ґрунтом 3- і 5-кілометрової зони викидами Бурштинської ТЕС, переважно включає одиничні й парні ацентричні фрагменти і дицентричні мости (рис. 1, 2). Типи хромосомних порушень за умов впливу ґрунту, відібраного на відстані 1 і 12 км від джерела забруднення, представлені одиничними ацентричними фрагментами і хроматидними мостами. Клітини з парними фрагментами і хромосомними мостами зустрічаються в поодиноких випадках. Частота клітин з множинними абераціями складає 0,07-0,29 % і їх появу переважно спричиняють фактори забруднення ґрунту 3-кілометрової зони (рис. 3).



А

Б

Рис. 1. Одиничні (А) та парні (Б) ацентричні фрагменти  
Figure 1. Singular (A) and pair/double (B) acentric fragments

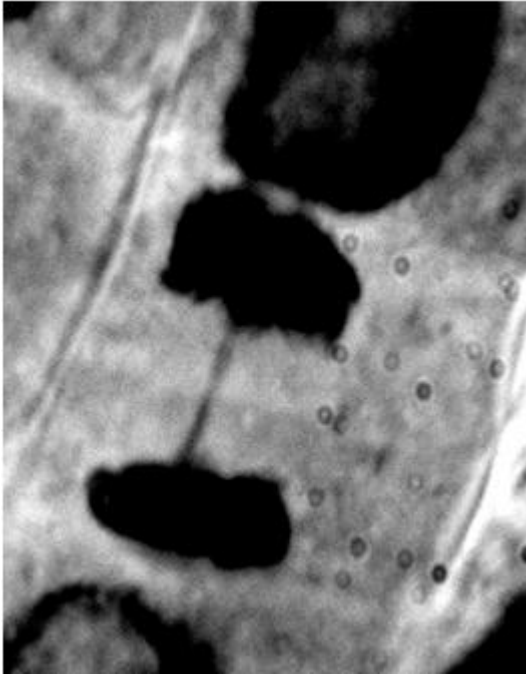


Рис. 2. Дицентричний міст

Fig. 2. Dicentric bridge

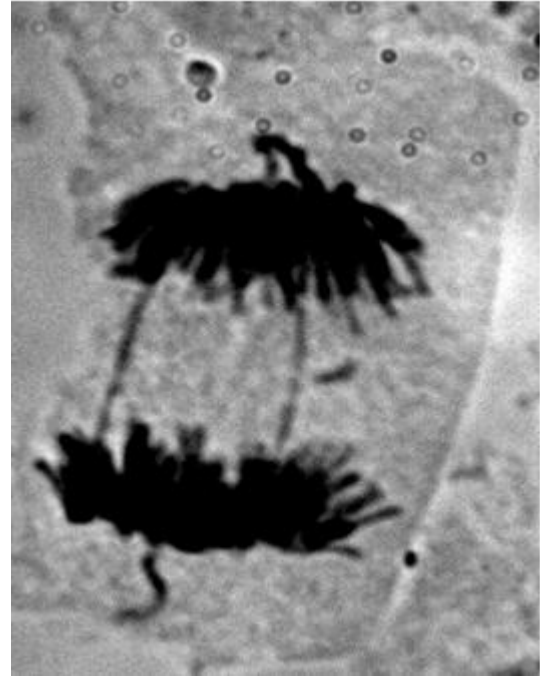


Рис. 3. Клітина з множинними  
абераціями

Fig. 3. Cell with plural aberrations

Поряд із зазначеними хромосомними абераціями у клітинах дослідних зразків, на відміну від контрольних, виявлено мікроядра та відстаючі хромосоми (рис. 4). Останні є індикаторами аномалій мітозу і свідчать про анеугенну дію забруднюючих факторів [18, 23]. Частота, з якою вони фіксуються, знаходиться в межах 0,08-0,19 %. Пророщування насіння пшениці сорту Зимоярка в ґрунті з 1-кілометрової зони спричиняє появу клітин з трьохполюсним мітозом.

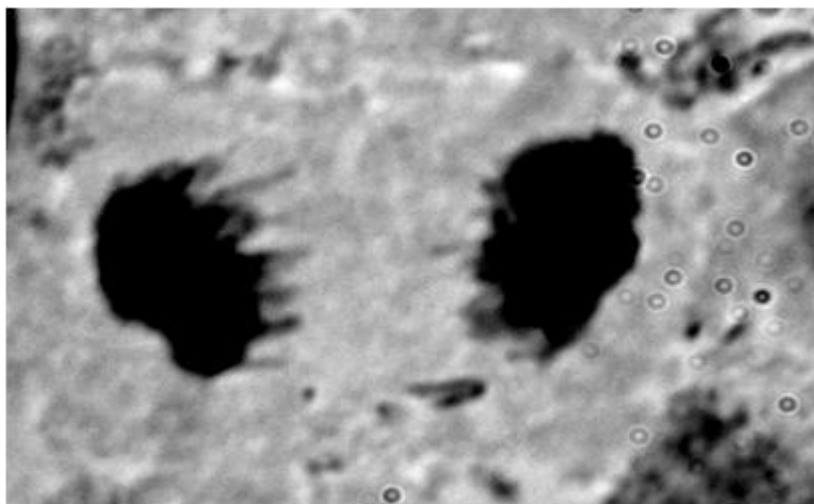


Рис. 4. Відстаюча хромосома

Fig. 4. Lagging chromosome

Високий рівень хромосомних перебудов, викликаний забрудненням ґрунту у місці шлаковідвалу № 1 Бурштинської ТЕС не супроводжується широким спектром їх типів і переважно включає ацентричні фрагменти й дицентричні мости. В меристематичних клітинах проростків пшениці сорту Альбатрос одеський, на відміну від сорту Зимоярка, переважаючим типом аберацій є саме парні фрагменти й хромосомні мости. Серед них також виявлено і анафазну клітину з відстаючою хромосомою.

## **Висновки**

Таким чином комплексна дія забруднювачів ґрунту територій, прилеглих до Бурштинської ТЕС та шлаковідвалу № 1, спричиняє підвищення в 1,5-2,5 та 1,8-3,0 рази, відповідно, рівня цитогенетичних порушень в меристематичних клітинах коренів проростків озимої пшениці. Найвища частота хромосомних аберацій виявлена за умов впливу мутагенів ґрунту, відібраного на відстані 3 і 5 км від джерела забруднення. Спектр їх переважно представлений одиничними і парними фрагментами й дицентричними мостами. Шкідливі викиди Бурштинської ТЕС, адсорбовані ґрунтом, викликають аномалії мітозу, що проявляються у блокуванні ниток веретена поділу та появі клітин з відстаючими хромосомами. Підвищений мутаційний рівень, виявлений поблизу Бурштинської ТЕС, свідчить про можливі негативні генетичні наслідки впливу на організми викидів зі стаціонарних джерел теплоенергетики та потребує подальшого проведення моніторингу територій, прилеглих до теплових електростанцій України.

## **Література**

1. Беккер А.А. Охрана и контроль загрязнения природной среды / А.А. Беккер, Т.Б. Агаев – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 286 с.
2. Биттуева М.М. Эффективность прогноза канцерогенной активности химических соединений при учете соматических мутаций у сои *Glycine max (L.) Merrill* / М.М. Биттуева, С.К. Абилов, В.А. Тарасов // Генетика. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 78-87.
3. Богуславська Л.В. Цитогенетична активність меристемних клітин коренів рослин кукурудзи за роздільної та сумісної дії іонів важких металів / Л.В. Богуславська, Л.В. Шупранова, О.М. Вінниченко // Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. – 2009. – Т. 7, № 1. – С. 10-16.



4. Боднар Л.С. Моніторинг генотоксикологічного забруднення деяких чинників навколишнього середовища / Л.С. Боднар, А.В. Мацяк, В.В. Беляєв // Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть. – К.: Логос, 2001. – С. 219-225.

5. Грабовський В. Оцінка радіоактивних викидів Добротвірської ТЕС (Львівська обл.) та їхнього впливу на довкілля / В. Грабовський, О. Браташ // Електроніка та інформаційні технології. – 2011. – Вип. 1. – С. 166-175.

6. Заичкина С.И. Комбинированное действие солей тяжелых металлов, хронического и острого г-облучения на величину цитогенетического повреждения в клетках костного мозга мышей и крыс / С.И. Заичкина, О.М. Розанова, Г.Ф. Аптикаева [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 514-518.

7. Захарченко М.П. Радиация, экология, здоровье / М.П. Захарченко, В.Х. Хавинсон, С.Б. Оникиенко, Г.Н. Новожилов. – СПб: Гуманистика, 2003. – 336 с.

8. Клименко М.О. Моніторинг довкілля: підручник [для студентів вищих навчальних закладів] / М.О. Клименко, А.М. Прищепа, Н.М. Вознюк – К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 360 с.

9. Корсун С.Г. Вплив важких металів на продуктивність, якість та генетичну активність сої / С.Г. Корсун, Г.В. Давидюк, І.А. Козерецька [та ін.] // Агроєкологічний журнал. – 2005. – № 3. – С. 37-40.

10. Лихолат Ю.В. Акумуляція важких металів в органах квітково-декоративних рослин за різних екологічних умов / Ю.В. Лихолат, І.П. Григорюк, О.К. Балалаєв [та ін.] // Доповіді НАН України. – 2007. – № 7. – С. 203-207.

11. Мамедова А.О. Биоиндикация качества окружающей среды на основе мутационной и модификационной изменчивости растений / А.О. Мамедова // Цитология и генетика. – 2009. – Т. 43, № 2. – С. 61-64.

12. Моргун В.В. Мутационная селекция пшеницы [монография] / В.В. Моргун, В.Ф. Логвиненко – К.: Наукова думка, 1995. – 624 с.

13. Муравьев А.Т. Оценка экологического состояния почвы / А.Т. Муравьев, Б.Б. Каррыев, А.Р. Ляндебег – Санкт-Петербург: Крисма+, 2000. – 164 с.

14. Мусієнко М.М. Вплив свинцю на еколого-фізіологічні показники рослин / М.М. Мусієнко, О.І. Косик // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Сер. Біологія. – 2002. – Вип. 36/37. – С. 37-40.

15. Наконечний Й.Й. Моніторинг навколишнього середовища ряду регіонів України та застосування природних сорбентів для покращення екологічної ситуації:

автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. хім. наук: спец. 21. 06. 01 «Техногенна безпека держави» / Й.Й. Наконечний. – Київ, 2000. – 17 с.

16. Програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної політики з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на період до 2010 року в новій редакції. – Полтава: Полтавський літератор, 2007. – 162 с.

17. Сердюк А.М. Здоров'я населення України: вплив генетичних процесів / А.М. Сердюк, О.І. Тимченко, О.В. Линчак [та ін.] // Журнал АМН України. – 2007. – Т. 13, № 1. – С. 78-92.

18. Сусков И.И. Индивидуальные особенности трансгенерационной геномной нестабильности у детей ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС (цитогенетические и иммуногенетические показатели) / И.И. Сусков, Н.С. Кузьмина, В.С. Сускова [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. – Т. 48, № 3. – С. 278-286.

19. Тимошевский В.А. Интерфазная цитогенетика в оценке геномных мутаций в соматических клетках / В.А. Тимошевский, С.А. Назаренко // Генетика. – 2005. – Т. 41, № 1. – С. 5-16.

20. Швець Л.С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності пилкових зерен різних рослин / Л.С. Швець // Досягнення біології і медицини. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 40-44.

21. Шквар А.І. Вплив техногенного навантаження Бурштинської ТЕС на прилеглі території / А.І. Шквар // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – Вип. 162. Ч. 2. – С. 106-110.

22. Ягунов А.С. Сочетанные эффекты пролонгированного действия г-излучения и ионов тяжелых металлов на систему кроветворения крыс / А.С. Ягунов, С.В. Токалов, Е.В. Потявина [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46, № 1. – С. 23-26.

23. Maffei F. Increased cytogenetic damage detected by FISH analysis on micronuclei in peripheral lymphocytes from alcoholics / F. Maffei, C. Fimognari, E. Castelli [et al.] // Mutagenesis. – 2000. – V. 15. – P. 517-523.