

**С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов, В. О. Максимович, О. З. Злотін,  
Т. Ю. Маркіна, Н. М. Лялюк, К. М. Маслодудова, А. І. Сафонов, О. В. Фєдотов,  
О. В. Машталер, М. В. Говта**

## **АПРОБУВАННЯ СПОСОБІВ БІОІНДИКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ДОНБАСУ**

*Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46*

*e-mail: biophys@dongu.donetsk.ua*

*Беспалова С. В., Горецький О. С., Глухов О. З., Максимович В. О., Злотін О. З., Маркіна Т. Ю., Лялюк Н. М., Маслодудова К. М., Сафонов А. І., Фєдотов О. В., Машталер О. В., Говта М. В.* Апробування способів біоіндикації екологічного стану Донбасу. – Зведено результати апробування біоіндикаційних можливостей видів рослин, тварин, грибів та людини у промислово розвиненому регіоні. Синтезовані дані рекомендовано розцінювати як базові для впровадження технології оцінки шкідливості факторів навколишнього середовища.

*Ключові слова:* біоіндикація, інтегральний показник, стан довкілля.

### **Вступ**

У попередніх публікаціях було розглянуто обґрунтування можливостей способів біоіндикації, методологічна база для їх реалізації, первинні результати дослідження біоіндикаційних можливостей різних видів рослин, тварин, грибів та показників функціонального стану людини у промислово розвиненому регіоні. На підставі цього розроблено охороноспроможні способи біоіндикації екологічного стану довкілля [1-5, 7, 37].

Завданням наступного етапу досліджень було апробування раніше визначених пріоритетних способів біодіагностики стану довкілля.

Зведення результатів апробації згруповано за блоками наукових напрямів дослідження.

**Біоіндикація за допомогою водоростей** [9, 14-16, 25]. Проведено альгоіндикацію екологічного стану, рівня забруднення водойм різних типів Донецької області. Обстежено більше 30-ти водних об'єктів, серед яких малі та середні річки (Сіверський Донець, Кальміус, Бахмут, Кальчик, Грузька та ін.), Азовське море, водосховища, ставки м. Донецька та ін. Визначено видовий склад фітопланктону водойм, види-індикатори сапробності, встановлено індекси сапробності. За результатами аналізу більшість водойм визначено як помірно забруднені або забруднені (індекси сапробності коливаються від 1,8 до 2,7). Для деяких водойм визначено тенденцію до погіршення ситуації й неможливість відновлення процесів самовідтворення та самоочистки. Умови існування гідробіонтів за створеною загальною технологією оцінки екологічного стану визначено як субнормальні – несприятливі. Дані результати впроваджені до роботи санітарно-епідеміологічних станцій та екологічних лабораторій м. Донецька та області. Їх можна рекомендувати до включення у єдину систему моніторингу, а також до уваги підприємств, що використовують ресурси конкретного водоймища (шахти, сільськогосподарські підприємства, підприємства водного господарства). Під час аналізу даних р. Сіверський Донець з'ясовано, що серед визначених 152 видів водоростей, 34% є показником сапробності. Розрахунок середньої сапробності біоценозу (за Пантле та Буком) показав, що індекс сапробності дорівнює 2,06 та досліджена ділянка річки відноситься до  $\beta$ -мезосапробної зони (зона помірного забруднення).

Аналіз фітопланктону показав, що в угрупованнях річок Північного Приазов'я зустрічалися водорості 7-ми систематичних відділів (Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Dinophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xantophyta, Chlorophyta). Усього визначено 135 видів водоростей. Ядро альгофлори складала представники відділів Chlorophyta та Bacillariophyta (сумарно 82% від загальної кількості видів альгофлори). Менш чисельними були синьо-зелені водорості (9% від загальної кількості видів). У фітопланктоні річок Полкова та Великий Кальчик формувався діатомово-протококовий комплекс із незначною кількістю синьо-зелених, вольвоксових та евгленофітових водоростей; у річках Сухий та Малий Кальчик відмічено протококово-діатомовий комплекс за участю синьо-зелених, вольвоксових та евгленофітових водоростей. Річки Північного Приазов'я: Великий Кальчик,

Малий Кальчик, Сухий Кальчик та Полкова відносяться до  $\beta$ -мезосапробної зони (зона помірного забруднення), що відповідає III класу якості води.

У фітопланктоні ставків-відстійників шахти ім. 60-річчя Радянської України (Будьонівський район м. Донецька) розвивався діатомово-протококовий комплекс з незначною участю евгленофітових та дінофітових водоростей. Індекс сапробності ставків-відстійників (за Пантуе та Буком) склав 2,03-2,19 ( $\beta$ -мезосапробний рівень).

Досліджено 5 ставків Кіровського району (ставки житлових масивів Абакумова, шахти "Лідієвка", "Бабаково-1", "Бабаково-2", ставок мікрорайону Бірюзова). В угрупованнях фітопланктону траплялися водорості трьох відділів: *Cyanoprokaryota*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*. Взагалі визначено 40 видів. Найбільше видове різноманіття було притаманне відділу *Chlorophyta*. Найбільше видове та родове різноманіття мали родини *Scenedesmaceae*, *Selenastraceae* та *Naviculaceae*. Також значним родовим та видовим різноманіттям відзначалася родина *Oocystaceae*. Таким чином, у фітопланктоні формувалася протококово-діатомовий комплекс. Сапробність досліджених ставків Кіровського району дорівнювала 2,5 й відповідала  $\beta$ -мезосапробній зоні (зона помірного забруднення). У Кіровському районі досліджені ставки: Кірша, Піщаний, відстійник ЗАТ "Гормаш", Чунь-Чунь (великий), Чунь-Чунь (малий), Рутченківський, Кар'єр. Аналіз видового складу показав, що 32 види водоростей були індикаторами сапробності. Розрахунок сапробності за Пантуе і Буком показав, що цей індекс для моніторингових точок склав у середньому 2,1, що відповідає  $\beta$ -мезосапробній зоні, яка характеризується присутністю аміаку та продуктів його окислення – азотної та азотистої кислот; амінокислот не виявлено, сірководень є у незначних кількостях, кисню у воді багато, мінералізація йде за рахунок повного окислення органічної речовини). Отримані значення індексу сапробності води ставків Кіровського району м. Донецька відповідають  $\beta$ -мезосапробній зоні, ставок Чунь-Чунь (малий) –  $\alpha$ -мезосапробній. Середній показник індексу сапробності дорівнював 2,1 (помірне забруднення).

Встановлено, що майже єдиним способом біоіндикаційної оцінки водойм є альгоіндикація. Визначено сапробність біоценозів, тенденції змін у фітоценозах та оцінено можливість самоочищення водойм різних типів.

**Біоіндикація за допомогою мохоподібних** [8, 12, 13, 18, 19]. Визначено видовий склад мохоподібних обраних промислових територій; вдосконалена технологія і критерії оцінки ступеня забруднення навколишнього середовища та трансформації природних екосистем; визначено навантаження на довкілля у промисловому регіоні, фактичний стан довкілля у техногенних та природних екотопах.

Уперше для південного сходу України досліджено можливість трансплантування мохоподібних до техногенних умов існування, визначено їх реакцію на дію факторів навколишнього техногенно трансформованого середовища, запропоновано шкалу оцінювання екологічної ситуації промислового регіону. Інформація є альтернативною технічним засобам для проведення заходів із нормування антропогенного навантаження на екосистему, потребує впровадження до практики стандартизації або тимчасової експертизи об'єктів промисловості.

Для проведення дослідження було обрано наступні зони.

Зона 1. ЦПКіВ (центральный парк культури і відпочинку) ім. 50-річчя Жовтня.

Зона 2. Територія, що розташована безпосередньо у санітарно-захисній зоні Макіївського металургійного комбінату (ММК).

Зона 3. Розташована у західному напрямку від ММК на відстані 2,4 км.

Контрольна зона розташована на відстані 5,5 км у східному напрямку від ММК і вважається умовно чистою.

Було виявлено морфологічні зміни трансплантатів мохів, що проявилися у зміні забарвлення листових пластинок, а також в їхньому частковому або повному відмиранні. У трансплантатів виду *Leskea polycarpa* Hedw. відмирання листя, а також цілих пагонів було помічено в Зонах 2 та 3. У Зоні 1 зміни були незначними: знебарвились верхівки декількох

листяних пластинок. Характерною рисою морфологічних змін трансплантатів виду *Amblystegium riparium* Bryol. eur. було повне знебарвлення верхівок пагонів у Зонах 2 та 3. До того ж, найбільш істотно це проявилось в Зоні 2 (помічено велику кількість знебарвлених пагонів). У Зоні 1 ці зміни майже не виявлено. У трансплантатів виду *Ortotrichum fallax* Bruch. морфологічні зміни проявилися у некрозі декількох пагонів та побурінні верхівок листяних пластинок більшості пагонів (Зона 2). За результатами аналізу морфологічних змін трансплантатів мохів встановлено, що найчутливішим до забруднення атмосферного повітря є вид *A. riparium*, а менш чутливим – *L. polycarpa*.

Встановлено, що найчутливішим до забруднення атмосферного повітря (результати аналізу морфометричних характеристик) виявився вид *O. fallax*, оскільки діапазон зміни довжини та ширини листкової пластинки у трьох зонах у нього був максимальним, порівняно з іншими видами. На підставі морфометричних показників найстійкішим до атмосферного забруднення виявився вид *L. polycarpa*. У трансплантатів *L. polycarpa* із Зони 3 відмерлими були частини майже всіх листяних пластинок (близько 1/3-1/4 пластинки). Повністю відмерлих пластинок не було помічено. Відмінною рисою змін листяних пластинок *A. riparium* у Зоні 1 стало знебарвлення їх верхньої частини. Листковим пластинкам трансплантатів цього моху притаманне відмирання груп, кількість клітин у котрих становило декілька десятків, у всіх частинах листа. У Зоні 2 зміни більш значні. Площі відмирання сконцентровані у верхній та середній частинах пластинок. Описані явища характерні для більшості досліджуваних зразків даного моху. Повністю відмерлі листкові пластинки спостерігались і в Зоні 3, верхівки живих листяних пластинок були повністю знебарвленими.

Характерною особливістю змін трансплантатів *O. fallax* стало побуріння верхівок листяних пластинок. Такі зміни на анатомічному рівні зумовлені бурим забарвленням коленхіматично потовщених стінок клітин. Листкові пластинки трансплантатів *O. fallax* у Зоні 1 відрізнялися побурінням лише декількох верхівок. Найбільш істотними виявились анатомічні зміни в Зонах 2 та 3, де разом із побурінням значної кількості клітин верхівки листкової пластинки відмерлими були також клітини середньої її частини. У всіх зразках трансплантатів мохів виявлено наявність або відсутність спорогонів. До трансплантації на дернинках *O. fallax* спостерігалась велика кількість спорогонів, а на дернинках інших видів їх було значно менше. Після трансплантації наявність спорогонів у великій кількості було зафіксовано лише у *O. fallax*, а в Зоні 2 вони змінили своє забарвлення на темно-буре. У решти видів спорогони стали поодинокими або були відсутні. Утворення нових спорогонів не помічено. Проведення вимірів коробочок *O. fallax* у кожній із зон трансплантації показало, що максимальною виявилась середня довжина коробочки в Зоні 1 ( $1,97 \pm 0,03$  мм), а мінімальною – в Зоні 2 ( $1,64 \pm 0,02$  мм). Це пояснюється тим, що в несприятливих умовах дещо уповільнюється розвиток органів генеративного розмноження мохоподібних. Натомість більш інтенсивним стає процес вегетативного розмноження. Такі зміни нами було помічено лише в Зоні 1 у трансплантатів *O. fallax*. Це підтверджує те, що мохи мають здатність до приживання у ході трансплантації.

На основі проведених спостережень та отриманих результатів морфологічних змін трансплантатів мохів здійснено оцінювання антропогенного навантаження на навколишнє середовище м. Макіївка. У зв'язку зі специфікою досліджуваної території та характером морфологічних змін трансплантатів мохів шкалу було дещо модифіковано, і в наслідок цього вона набула наступного вигляду: "5" – дернинки практично без ушкоджень; "4" – ушкодження (знебарвлення та побуріння) декількох листяних пластинок на верхівках гаметофітів; "3" – відмирання менше ніж половини гаметофітів дернинки; "2" – відмирання більше ніж половини гаметофітів дернинки; "1" – всі гаметофіти дернинки пошкоджені або повністю відмерлі. За п'ятибальною шкалою складено шкалу розрахованого індексу, яка характеризує екологічні умови досліджуваної території. Поняття "екологічні умови", у даному випадку, ми розуміємо як ступінь забруднення атмосферного повітря. Кожне зі значень шкали є балом п'ятибальної шкали, помножений на 3 (кількість індикаторних видів).

Порівнявши отримані індекси зі шкалою, можна сказати, що екологічні умови у Зонах 1 та 3 є нормальними, а у Зоні 2 – несприятливими. Сприятливими виявилися екологічні умови у контрольній зоні. Слід зазначити, що отримані результати, за умови проведення досліджень із застосуванням інших індикаторних організмів, дадуть чіткіше уявлення стану досліджуваної території, що дозволить отримати комплексну оцінку забруднення атмосферного повітря промислового регіону.

**Біоіндикація за допомогою вищих квіткових рослин** [11, 20-23, 27, 30-35, 38]. Структурна фітоіндикація є базовим елементом екологічного моніторингу стану природних та трансформованих систем у промисловому регіоні, базується на показниках інформативної індикаторної пластичності та мінливості видів-індикаторів за морфометричними показниками елементів архітекtonіки та їх конформаційної будови. Вдосконалена технологія, критерії оцінки ступеня забруднення навколишнього середовища та трансформації природних екосистем, навантаження на довкілля у промисловому регіоні, фактичний стан довкілля у техногенних та природних екотопах. За умов використання параметрів, сумарний показник реакції рослин на дію факторів неспецифічного стресу буде дорівнювати інтегральному рівню та потужності факторів стресу на екологічні системи території, що аналізуються. Максимальна кількість балів за допомогою цих показників дорівнює 100, мінімальна – 10. За апробованими методиками для різних об'єктів дослідження рекомендуємо наступну умовну шкалу оцінювання ступеня токсичного навантаження на природні системи: 10-25 – нормальний стан екосистеми; 26-35 – допустимий, 36-75 – той, що перевищує допустимий рівень, 76-100 – недопустимий рівень дисбалансу в природних системах, що аналізуються.

Отримано зведення результатів технічного (А – викиди забруднюючих речовин, тис. т) та фітоіндикаційного моніторингу (Б – для 1-2-км зони кожного з підприємств): ВАТ "ММК ім. Ілліча", ВАТ "ММК Азовсталь", Старобешівська ТЕС ВАТ "Донбасенерго", Курахівська ТЕС ТОВ "Східенерго", Вуглегірська ТЕС ВАТ "Державна енергогенеруюча компанія "Центренерго", ВАТ "Шахта ім. Засядька", Зуївська ТЕС-2 ТОВ "Східенерго", Слов'янська ТЕС ВАТ "Донбасенерго", ВАТ "Макиївський меткомбінат", ВАТ "Єнакіївський металургійний завод", ВАТ "Авдіївський коксохімічний завод", ВАТ "Макрохім", ВАТ шахта "Південнодонбаська № 1", ЗАТ "Донецьксталь", ВАТ "Донецький металургійний завод", ВАТ "Ясинівський КХЗ", ВАТ "Єнакіївський КХЗ", ЗАТ "Єнакіївський коксохімпром", ВАТ "Макиївський КХЗ", ЗАТ "Макиївкокс", ВАТ "Донецьккокс".

Метод структурної трансформації апробовано для районів м. Донецька та Донецької області, встановлено рівень навантаження. Запропонована технологія оцінки стану довкілля за сумарним критерієм дозволяє виявити диференціацію та ранжувати території Донецької області за ступенем токсичного впливу на середовище.

Інформація є альтернативною технічним засобам для проведення заходів із нормування антропогенного навантаження на екосистеми, потребує впровадження до практики стандартизації або тимчасової експертизи об'єктів промисловості. Апробацію методу (частини технології) структурної фітоіндикації за індикаторною пластичністю вищих рослин в умовах техногенно трансформованого середовища проведено та адаптовано до промислових майданчиків та селітебних зон районів м. Донецька та Донецької області. Встановлено, що недопустимий рівень навантаження є характерним для Будьонівського, Ворошиловського, Куйбишевського, Петровського та Ленінського районів м. Донецька, більшості територій міст Єнакієвого, Костянтинівки, Краматорська, Макиївки та Маріуполя, де до комплексів технічних спостережень та екологічного контролю рекомендовано залучати показники стану біоти як інтегровані критерії ступеня токсичності. Регіональну адаптацію методу структурної фітоіндикації здійснено шляхом розширення та доповнення асортименту видів-індикаторів та відповідно їх ознак, наприклад для *Reseda lutea* L. це показники карполого-ембріологічної матрикальності та гетероспермії; для *Dactylis glomerata* L., *Bromopsis inermis* (Leyus.) Holub та *Bromus arvensis* L. – морфологічна деструктуризація

паліносировини; для *Populus deltoides* Marsh та *Populus nigra* L. – варіативність будови халазних виростів насінневих утворень; для *Plantago major* L. – скульптура поверхні листкових пластинок та деформація термінальної флоєми листків. Впроваджена технологія оцінки стану довкілля за сумаційним критерієм дозволяє виявити диференціацію та ранжувати території Донецької області за ступенем токсичного впливу на середовище, а також повинна бути залученою до системи моніторингу й контролю стану екологічної ситуації у техногенно напруженому регіоні.

#### **Біоіндикація за допомогою вищих базидіальних грибів [6, 10, 26, 36].**

Експериментальні результати річних моніторингових досліджень контрольної – дендрарій Донецького ботанічного саду (ДБС) НАН України та дослідних територій міст Донецька та Макіївка з впровадженням мікологічних способів визначення екологічного стану місця їх зростання за рівнем активності каталази та ПОЛ міцелію плодових тіл базидіоміцетів показали наступне. Активність каталази та рівень процесів ПОЛ міцелію плодових тіл грибів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus*, які мешкали на територіях міст Донецька та Макіївка, вірогідно вища за показники КА і ТБК-АП міцелію плодових тіл з дендрарію. Отримані дані також показали ймовірну порівняльну різницю активності каталази й інтенсивності процесів ПОЛ, характерну для досліджених видів макроміцетів.

За звітний період проведено моніторингові дослідження контрольної (дендрарій ДБС НАН України) та дослідних територій Київського і Ворошиловського районів м. Донецька та Центрально-міського району м. Макіївка з впровадженням біологічних способів визначення екологічного стану місця зростання базидіоміцетів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* за рівнем активності каталази та ПОЛ міцелію. Аналіз отриманих даних активності ферменту каталази показав, що дикорослі плодові тіла їстівних лікарських базидіоміцетів *F. velutipes* і *P. ostreatus*, що зібрані з різних за екологічними умовами місць зростання, мають рівень каталазної активності, який вірогідно відрізняється. КА міцелію плодових тіл, які мешкали на територіях міст Донецька та Макіївка, значно вища за показники КА міцелію плодових тіл з дендрарію.

Виходячи з отриманих результатів дослідів щодо інтенсивності процесів ПОЛ у міцелії, дикорослущі плодові тіла базидіоміцетів мають рівень вмісту ТБК-АП, а відповідно і ПОЛ, який вірогідно відрізняється. Рівень ПОЛ плодових тіл, що зібрані в містах Донецьк та Макіївка вірогідно вищий вмісту ТБК-АП міцелію плодових тіл з дендрарію ДБС. Для останніх відмічено мінімальний вміст продуктів ПОЛ у міцелії. Дослід виявив і ймовірну порівняльну різницю інтенсивності процесів ПОЛ, характерну для досліджених представників видів *Flammulina* і *Pleurotus*.

Таким чином, експериментальні результати річних моніторингових досліджень контрольної (дендрарій ДБС НАН України) та дослідних територій міст Донецьк та Макіївка з впровадженням мікологічних способів визначення екологічного стану місця їх зростання за рівнем активності каталази та ПОЛ міцелію плодових тіл базидіоміцетів показали наступне. Активність каталази та рівень процесів ПОЛ міцелію плодових тіл грибів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus*, що мешкали на територіях міст Донецьк та Макіївка, вірогідно вища значень КА і ТБК-АП міцелію плодових тіл з дендрарію. Отримані дані також показали ймовірну порівняльну різницю активності каталази й інтенсивності процесів ПОЛ, характерну для досліджених видів макроміцетів. Проведені моніторингові дослідження підтверджують загальнобіологічну закономірність про те, що будь-який організм під час впливу на нього нового фактору зовнішнього середовища чи при освоєнні нової еконіши або є резистентний, або, як правило, адаптується, набуваючи при цьому властивості та зміну норм реакції, що досягається за рахунок варіабельності онтогенетичних і фізіологічних властивостей. Виявлені адаптаційні перебудови, швидше за все ведуть і до формування мікобіоти урбанізованих систем цих міст.

**Біоіндикація за допомогою шовковичного шовкопряда** [17, 28, 29]. Апробовано технологію біоіндикації стану довкілля за експрес-методом з використанням шовковичного шовкопряда у 5-ти точках різних районів м. Донецька. Встановлено, що у Ворошиловському (вул. Артема), у Київському районах (автостоянки, автостанція), у районі Донецького металургійного заводу (ДМЗ) – стан "україн несприятливий". Гусінь-мурашів 100% загинула у перший день після годівлі листом шовковиці, взятим із цих районів. У Кіровському районі (житловий комплекс) стан визначено як "несприятливий". Загибель гусіні у перший день після годівлі – 70%. Запропоновано новий спосіб біологічної оцінки забруднення ґрунтів солями важких металів з використанням рослини-поглинача (шовковиці), а в якості тест-об'єкта – гусінь шовковичного шовкопряда.

Практичне апробування нової технології біомоніторингу проводили у різних районах м. Донецька. Виявлення забруднення довкілля викидами техногенного походження (металургійна промисловість, автотранспорт та ін.) проводили за допомогою гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда згідно з описом до патентів України (№ 31432 "Спосіб біоіндикації забруднення середовища інсектицидами" та № 31429 "Спосіб біологічної оцінки забруднення води солями важких металів"). В якості тест-об'єкта для біоіндикації стану техногенного району взято гусениць шовковичного шовкопряда чутливої породи Б-1<sub>пол</sub>. Гусениць-мурашів відбирали для тестування ваговим методом, по 50 мг 3-ма повторами, у варіантах, де гусениць годували один раз листом шовковиці з районів інтенсивного забруднення довкілля викидами техногенного походження, з подальшим спостереженням за динамікою загибелі голодуючих гусениць зберігаючи їх при +25°C.

Робота проводилась у весняну та літню вигодівлі. Схема досліду з вигодуванням гусениць забрудненим листом шовковиці включала такі варіанти: 1) контроль – вигодування гусениць листям промитим кип'яченою водою з відносно чистого району; 2) вигодування гусениць листям з району з інтенсивним забрудненням довкілля солями важких металів. Враховували тривалість гусеничного циклу (дні) та їх життєздатність (%). Листя шовковиці для вигодування мурашів шовковичного шовкопряда брали на території м. Донецька у 5 місцях: Київський район – територія міжміської автостанції; автостоянка "Маяк"; Ворошиловський район – вул. Артема, перехрестя чотирьох автотрас; район ДМЗ та Кіровський район (житловий комплекс).

У досліджах використовували гусінь-мурашів відразу після виходу із греди – найчутливішої стадії розвитку шовковичного шовкопряда до дії інсектицидів. Облік гусениць проводили до початку їх загибелі у контролі. Спостереження за їх смертністю після одноразової годівлі листям шовковиці показали: у першу добу загинуло 100% гусениць, яким згодовували лист взятий у Ворошиловському районі (вул. Артема), Київському районі (район міжміської автостанції, автостоянка "Маяк") і в районі ДМЗ. До того ж слід зауважити, що загибель гусениць, яким згодовували лист шовковиці взятий у Ворошиловському районі з дерев вздовж автотраси та з району ДМЗ, відбулася протягом перших 6-ти годин після годівлі.

Отже, загибель гусениць знаходиться у прямій залежності від інтенсивності забруднення листа шовковиці. Гусениці, яким згодовували листя взяті у Кіровському районі (житловий комплекс) загинули протягом чотирьох діб, відповідно у першу добу – (41) – 70,7%; другу – (10) – 17,2%; третю – (5) – 8,7%; четверту (2) – 4,0%. У контролі гусениці почали гинути тільки на четверту добу. З наведених даних можна зробити такі висновки: токсичні речовини вихлопних газів накопичуються у листах шовковиці як поверхнево з атмосфери, так і сокорухом з ґрунтів; інтенсивно забрудненим було листя шовковиці, взяті з дерев, що ростуть вздовж автотраси по вулиці Артема (Ворошиловський район); район ДМЗ; у Київському районі (біля автостанції); причому у перших двох точках більш інтенсивне забруднення. За прийнятою шкалою оцінки стану екологічного середовища можна виділити: 1 бал – сприятливий стан – незареєстрована загибель гусениць-мурашів; 2 бали – нормальний стан – спостерігається їх незначна загибель – 0-5%; 3 бали – субнормальний стан

– загибель гусениць – 6-20%; 4 бали – несприятливий стан – загибель гусениць – 21-80% ; 5 балів – край несприятливий – загибель гусениць – 81-100%.

Стан довкілля у таких районах як центр м. Донецька, вул. Артема, район ДМЗ, Київський район (автостанція), автостоянка "Маяк" – 5 балів, "край несприятливий". У житловому комплексі Кіровського району – 4 бали, "стан довкілля – несприятливий". Таку оцінку екологічного стану можна пояснити тим, що відбувається значна концентрація викидів від промислових підприємств, автотранспорту не тільки тих, що розташовані у м. Донецьку, а й прилеглих територій – коксохімзаводу м. Макіївки, м. Авдіївки, викиди яких можуть концентруватись на значній відстані від джерела утворення.

Вихлопні гази автотранспорту акумульовані у ґрунті, атмосфері поглинаються шовковицею, а гусінь шовковичного шовкопряда, кормом для якої є лист шовковиці стає досить чутливим біоіндикатором забруднення довкілля. Таким чином, у результаті практичної апробації нової технології біоіндикації стану техногенного забруднення середовища за допомогою шовковичного шовкопряда експериментально доведено її високу ефективність щодо виявлення забруднення повітря, рослин, і ґрунтів.

Результати апробації показали високу ефективність шовковичного шовкопряда як тест-об'єкта на техногенні забруднювачі.

**Біоіндикація за допомогою дослідження індивідуальних психофізіологічних показників людини.** Вибрано чотири райони м. Донецька: Кіровський, Петровський, Київський та Пролетарський, на підставі яких отримано данні психофізіологічного стану обстежених студентів (n=40). Встановлено відповідні оцінки шкідливості досліджуваних територій та проаналізовано індивідуальні психофізіологічні показники студентів.

Обстежено студентів 1-3 курсів біологічного факультету Донецького національного університету, які тривалий час мешкали на різних за екологічним станом територіях м. Донецька. Для цього було зареєстровано психофізіологічні показники для кожного з студентів та розраховано відповідно до розробленого способу (патент України № 27501) їх психофізіологічний стан. Обрано чотири райони м. Донецька, в яких мешкали піддослідні: Кіровський, Петровський, Київський та Пролетарський (10 чоловік у кожному).

За результатами досліджень було отримано індивідуальні данні психофізіологічного стану обстежених студентів, які мешкали на даних територіях. Визначення індивідуальних психофізіологічних станів (за інтегральним показником) студентів було зроблено для оцінки екологічної шкідливості (з урахуванням відповідних балів) досліджуваних районів.

Встановлено, що психофізіологічний стан мешканців Кіровського району, який дорівнював  $5,2 \pm 0,03$  ум. од. відповідав середньому рівню впливу екологічних умов на людину. Тобто менш сприятлива за екологічним станом техногенно-трансформована територія. У мешканців Петровського району середній показник психофізіологічного стану дорівнював  $5,8 \pm 0,08$  ум. од., що характеризує середній рівень впливу екологічних умов на людину. Така територія за екологічним станом теж менш сприятлива для людини. Середній показник психофізіологічного стану мешканців Київського району дорівнював  $4,7 \pm 0,04$  ум. од., що відповідає підвищеному рівню впливу екологічних умов на людину. Тобто цей район був несприятливим за екологічним станом. Середній показник психофізіологічного стану мешканців Пролетарського району, який дорівнював  $4,2 \pm 0,02$  ум. од., характеризував також підвищений рівень впливу екологічних умов на людину. Ця техногенно-трансформована територія м. Донецька була несприятлива за екологічним станом.

Таким чином, середні показники психофізіологічного стану обстежених студентів, які тривалий час мешкали на досліджених територіях м. Донецька, свідчать про екологічну несприятливість цих територій. Усі психофізіологічні показники, які були зареєстровано у студентів, вірогідно ( $p < 0,05$ ) відрізнялись між собою. Тому м. Донецьк цілком можна

характеризувати як несприятливу за екологічним станом техногенно-трансформовану територію.

Вперше за психофізіологічним станом людини дана екологічна оцінка стану деяких районів м. Донецька. Встановлено, що за допомогою дослідження індивідуальних психофізіологічних показників людини можна оцінити ступінь трансформованості територій м. Донецька. Запропонована технологія оцінки трансформованого промисловістю середовища за індивідуальним психофізіологічним станом організму людини.

Таким чином, за допомогою різних методів проведено апробування способів біоіндикації стану довкілля у промисловому регіоні. Отримані дані можуть бути підґрунтям до створення технології оцінки загального інтеграційного ступеня шкідливості несприятливих факторів довкілля на біоту.

### Список літератури

1. Беспалова С. В., Горещкий О. С., Говта М. В., Лялюк Н. М., Максимович В. О., Злотін О. З., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М., Сафонов А. І., Федотов О. В. Розробка способів біоіндикації екологічного стану Донбасу // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межвед. сб. научн. работ. – Донецк: ДонНУ, 2007. – Вып. 7. – С. 17-24.
2. Беспалова С. В. Биотехнологии для нормализации экологии (программа создания комплекса) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межвед. сб. научн. работ. – Донецк: ДонНУ, 2004. – Вып. 4. – С. 10-21.
3. Беспалова С. В. Первостепеннейшее в экологии – биота: и в науке, и в практике // Энергия инноваций. – Донецк, 2005. – № 4. – С. 51-53.
4. Беспалова С. В., Максимович В. А. Биологическая экология: Моделирование жизнеспособных биотических организаций // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межвед. сб. научн. работ. – Донецк: ДонНУ, 2003. – Вып. 3. – С. 11-18.
5. Беспалова С. В., Максимович В. А. Интегральная экология // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межвед. сб. научн. работ. – Донецк: ДонНУ, 2002. – Вып. 2. – С. 11-15.
6. Брусніцина О. М., Федотов О. В. Вплив складу живильного середовища на каталазну активність *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. // Мат. III Всеукр. наук. конференції "Сучасні проблеми природничих наук" (м. Ніжин, 23-24 квітня 2008 р.). – Ніжин: ПГФ НДУ, 2008. – С. 17-18.
7. Глухов О. З., Сафонов А. І., Хиженяк Н. А. Фітоіндикація металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі. – Донецьк: Вид-во "Норд-Прес", 2006. – 360 с.
8. Глухов О. З., Маиталер О. В. Індикація техногенного забруднення середовища із застосуванням мохів // Промислова ботаніка. – 2007. – С. 3-10.
9. Дегтярев Е. В., Титов А. И., Лялюк Н. М. Мониторинг фитопланктона р. Кальмиус // Мат. Всеукр. науч. конф. "Мониторинг природных и техногенных сред" (г. Симферополь, 24-26 апреля 2008 г.). – Симферополь: ДИАИПИ, 2008. – С. 45-48.
10. Евсеенкова А. Н., Федотов О. В. Влияние некоторых фенольных веществ на каталазную активность штаммов *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing. // Мат. III Всеукр. науч. конференції "Сучасні проблеми природничих наук" (м. Ніжин, 23-24 квітня 2008 р.). – Ніжин: ПГФ НДУ, 2008. – С. 19-20.
11. Екологічна експертиза. Екологія міського середовища: Підручник. Науково-методична серія "Бібліотека студента-еколога" / Укл. А. І. Сафонов. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – 816 с.
12. Задорожна Д. В., Маиталер О. В. Застосування трансплантатів мохів для індикації забруднення повітряного середовища викидами металургійного підприємства // Тези доп. IV Міжнар. наук. конф. студентів і аспірантів "Молодь і поступ біології" (м. Львів, 7-10 квітня 2008 р.). – Львів, 2008. – С. 182-183.



13. *Задорожная Д.В., Маиталер А.В.* Морфологические изменения трансплантатов мхов как реакция на загрязнение атмосферного воздуха промышленного региона // Тези доп. VII Міжнар. наук. конф. аспірантів та студентів "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів" (м. Донецьк, 15-17 квітня 2008 р.). – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2008. – Т. 1. – С. 235-236.
14. *Климюк В. Н., Лялюк Н. М.* Биоиндикация загрязнений Славянских озёр // Тези доп. VII Міжнар. наук. конф. аспірантів та студентів "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів" (м. Донецьк, 15-17 квітня 2008 р.). – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2008. – Т. 1. – С. 245-246.
15. *Климюк В. Н., Лялюк Н. М.* Мониторинг фитопланктона соленых озер г. Славянска // Мат. Всеукр. науч. конф. "Мониторинг природных и техногенных сред" (г. Симферополь, 24-26 апреля 2008 г.). – Симферополь: ДИАИПИ, 2008. – С. 67-70.
16. *Лялюк Н. М.* Впровадження новітніх біоіндикаційних технологій при підготовці бакалаврів з екології // Мат. Всеукр. наук.-практ. конф. "Соціально-педагогічний комплекс регіону: теорія і практика". – Полтава, 2008. – С. 50-54.
17. *Маркіна Т. Ю., Злотін О. З.* Шовковичний шовкопряд як тест-об'єкт для біоіндикації забруднення довкілля // Мат. Міжнар. наук. конф. присв. 50-тиріччю функціонування високогірного біологічного стаціонару Пожижевська (23-27 вересня 2008 р.). – Львів, 2008. – С. 272-273.
18. *Маиталер А. В., Задорожная Д. В.* Морфологические изменения трансплантатов мхов под влиянием газообразных выбросов промышленных предприятий // Мат. III Міжнар. наук. конф. "Відновлення порушених природних екосистем" (м. Донецьк, 7-9 жовтня 2008 р.). – Донецьк, 2008. – С. 367-369.
19. *Маиталер О. В., Задорожна Д. В.* Морфологічні зміни трансплантатів мохів як реакція на забруднення повітря промислового регіону // Чорноморськ. бот. журн. – 2008. – Т. 4. – С. 237-243.
20. *Мікулич Л. О., Сафонов А. І.* Ембріональний аспект фітоіндикації промислового середовища на прикладі *Reseda lutea* L. // Тези доп. VII Міжнар. наук. конф. аспірантів та студентів "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів" (м. Донецьк, 15-17 квітня 2008 р.). – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2008. – Т. 1. – С. 120-121.
21. *Моніторинг довкілля: Підручник.* Науково-методична серія "Бібліотека студента-еколога" / Укл. А. І. Сафонов. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – 460 с.
22. *Навчально-методичний посібник з курсу "Промислова ботаніка"* / А. І. Сафонов. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – 128 с.
23. *Навчально-методичний посібник із спецкурсу "Фітоіндикація промислового регіону"* / А. І. Сафонов. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – 132 с.
24. *Омельяненко М. Ю., Лялюк Н. М.* Мониторинг экологического состояния реки Северский Донец // Матер. Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных "Ломоносов-2008" (г. Москва, 8-11 апреля 2008 г.) – М., 2008. – С. 112-115.
25. *Омельяненко М. Ю., Лялюк Н. М.* Экологическая оценка состояния малых и средних рек Донбасса // Вестник студенческого научного общества Донецкого национального университета. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2008. – С. 175-181.
26. *Патент 26736* України. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання за рівнем активності каталази / Федотов О. В. Заявка № 200703598, від 02.04.2007, МПК (2006), кл. А01Н15/00, Бюл. № 16, від 10.10.2007.
27. *Патент 64340 А UA, МКИ 7 А01G7/00.* Спосіб визначення локального ефекту токсичного впливу важких металів: Деклараційний патент на винахід. – О. З. Глухов, Н. А. Хижняк, А. І. Сафонов. – № 2003054453; Заявл. 19.05.03; Опубл. 16.02.04. – Бюл. № 2. – 5 с.
28. *Патент на корисну модель № 31429* (Спосіб біологічної оцінки забруднення води солями важких металів) 10.04.2008, Бюл. № 7, 2008 р. Злотін А. З., Беспалова С. В., Єгорова О. А., Маркіна Т. Ю., Пальчик О. А., Маслодудова К. М.

29. Патент на корисну модель № 31432 (Спосіб біоіндикації забруднення середовища інсектицидами) 10.04.2008, Бюл. № 7, 2008 р. Злотін А. З., Беспалова С. В., Єгорова О. А., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М.

30. Пащенко З. В., Сафонов А. І. Едафотопічна обумовленість стратегічної реалізації *Echium vulgare* L. // Тези доп. VII Міжнар. наук. конф. аспірантів та студентів "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів" (м. Донецьк, 15-17 квітня 2008 р.). – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2008. – Т. 1. – С. 145-147.

31. Сафонов А. І. Генеративная активность растений-индикаторов в промышленном регионе // Мат. Міжнар. наук. конф. "Відновлення порушених природних екосистем" (м. Донецьк, 7-9 жовтня 2008 р.). – Донецьк: Б. в., 2008. – С. 492-497.

32. Сафонов А. І. Реализация стратегии выживания биоиндикаторов в техногенной среде // Мат. Всеукр. науч. конф. "Мониторинг природных и техногенных сред" (г. Симферополь, 24-26 апреля 2008 г.). – Симферополь: ДИАЙПИ, 2008. – С. 203-207.

33. Сафонов А. И., Беломеря П. С. Эколого-палинологический анализ некоторых аллергенной городской среды // Проблемы экологии (общегосударственный научно-технический журнал). – 2008. – № 1. – С. 71-79.

34. Сафонов А. І. Карполого-ембріологічна матрикальність індикаторних видів рослин промислового регіону // Зб. наук. праць Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України. – К.: "Фітосоціоцентр", 2008. – № 2. – С. 157-167.

35. Сафонов А. І. Фітостратегічний потенціал антропогенезу // Мат. Міжнар. конф. молодих учених "Актуальні проблеми ботаніки та екології" (м. Кам'янець-Подільський, 13-16 серпня 2008 р.). – К.: Б. в., 2008. – С. 188-190.

36. Федотов О. В., Євсієнкова Г. М., Перцевой М. С. Активність ПОЛ і каталази макроміцетів – як можливі біоіндикаційні показники екологічного стану їх місця зростання // Зб. наук. праць Луганського нац. аграрного ун-ту. Сер. "Сільськогосп. науки". – Луганськ: ЛНАУ, 2008. – № 82. – С. 73-81.

37. Шевченко В. П., Беспалова С. В., Максимович В. О. Проект національної програми з розробки біологічних технологій // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межвед. сб. научн. работ. – Донецк: ДонНУ, 2007. – Вып. 7. – С. 10-16.

38. Safonov A. I., Safonova Y. S. Phytoecological characteristics of industrial urban environment // Problems of ecology and nature protection of technogen region (the interdepartmental collection of scientific works). – Donetsk: DonNU, 2007. – Iss. 7. – P. 70-77.

**Беспалова С. В., Горецкий О. С., Глухов А. З., Максимович В. А., Злотин А. З., Маркина Т. Ю., Лялюк Н. М., Маслодудова Е. Н., Сафонов А. И., Федотов О. В., Махталер А. В., Говта Н. В. Апробирование способов биоиндикации экологического состояния Донбасса.** – Обобщены результаты апробирования биоиндикационных возможностей видов растений, животных, грибов и человека в промышленно развитом регионе. Синтезированные данные рекомендовано рассматривать как базовые для внедрения технологии оценки вредности факторов окружающей среды.

*Ключевые слова:* биоиндикация, интегральный показатель, состояние среды.

**Bespalova S. V., Goretsky O. S., Glukhov A. Z., Maksimovich V. A., Zlotin A. Z., Markina T. Yu., Ljaljuk N. M., Maslodudova E. N., Safonov A. I., Fedotov O. V., Mashtaler A. V., Govta N. V. Approbation of bioindication methods of ecological state of Donbass.** – Results of the research of bioindicator capacity of species of plants, mushrooms, animals and man in an industrially developed region have been summarized. The synthesized data are recommended for considering as basic for introduction of the technology of assessment of harmfulness of the environment factors.

*Key words:* bioindication, integral index, environment state.