

**ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF ECOLOGY**

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

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОЇ БІОІНДИКАЦІЙНОЇ ОЦІНКИ
ДОВКІЛЛЯ ТЕХНОГЕННОГО РЕГІОНУ**

*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., Говта М. В., Маркіна Т. Ю., Лялюк Н. М., Маслодудова К. М., Сафонов А. І., Машталер О. В., Фєдотов О. В. Розробка технології комплексної біоіндикаційної оцінки довкілля техногенного регіону. – За результатами апробації внесено корективи в розроблену технологію комплексної біоіндикації середовища. Підготовлено технологію комплексної оцінки стану техногенного регіону за інформативними біоіндикаційними показниками, за допомогою якої більш ґрунтовно можна здійснювати заходи, спрямовані на поновлення і покращення стану середовища, здоров'я населення та біосфери.

Ключові слова: технологія, біоіндикація, стан довкілля.

Вступ

Проведені в останні роки дослідження екологічного стану територій Донецької області показують, що відбуваються не тільки суттєві зміни природного ландшафту, але і значні хімічні перетворення практично всіх компонентів біосфери промислового регіону. Такі техногенні перетворення як наслідок відбуваються на здоров'ї мешканців регіону і завдяки множинному впливу хімічних чинників є непрогнозованими. Ця проблема займає особливо важливе місце у зв'язку з надзвичайно високими масштабами і швидкістю техногенних процесів на території Донбасу.

Перевагою методів біоіндикації і біотестування перед фізико-хімічними методами є інтегральний характер відповідних реакцій організму, які сумують усі без винятку біологічно важливі дані про стан навколишнього середовища і відбивають його у цілому. Живі індикатори реагують на швидкі зміни у стані зовнішнього середовища, шляхи і місця накопичення токсикантів у екосистемах, дають змогу отримати уявлення про ступінь шкідливості тих чи інших речовин для живої природи і людини.

У попередніх наших дослідженнях [1-5] було визначено індикаційні можливості різних біологічних видів, їхній стан і розповсюдженість на екологічно забруднених та відносно чистих територіях. На підставі цього було розроблено способи біоіндикації екологічного стану довкілля і проведено їх апробування в промисловому регіоні [1, 6-9].

Отримані дані стали підґрунтям для створення технології комплексної оцінки екологічного стану техногенно трансформованих територій за біоіндикаційними показниками.

Тому наступним завданням було удосконалити існуючу технологію [6] оцінки стану довкілля промислового регіону та антропогенно зміненого середовища за результатами її апробування.

Матеріал і методи дослідження

Серед широкого спектру методів екологічних досліджень нами було обрано такі: польовий (рекогносцирувальний та стаціонарний), лабораторний і статистичні методи. Для проведення біоіндикаційних досліджень екологічного стану території Донецької області була визначена мережа моніторингових точок (рис. 1) з урахуванням таких основних параметрів, як: особливості, ступінь антропогенного навантаження, характер географічної структури району дослідження тощо.



Рис. 1. Карта-схема мережі моніторингових точок (■) Донецької області для проведення біоіндикаційних досліджень їх екологічного стану.

У досліджуваних районах умовно визначали декілька промислових зон із різними типами виробництва, а також зон, що характеризуються різним комплексним забрудненням середовища, у тому числі вид автотранспорту, сільськогосподарських робіт та інших видів господарської діяльності людини. Контрольні біоіндикаційні дослідження проведено й у відносно екологічно чистих районах Донецької області (Краснолиманський і Артемівський райони).

Способи оцінки екологічного стану місця зростання базидіоміцетів засновано на визначенні вмісту продуктів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) у їх плодових тілах та рівня каталазної активності (КА) міцелію. Об'єктами дослідження були дикорослі плодові тіла їстівних лікарських базидіоміцетів [10] *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* приблизно одного віку, вилучених із різних за екологічними умовами місць зростання.

Індикація водних об'єктів із використанням водоростей включала ряд етапів поступового відбору, концентрування, фіксації та камеральної обробки проб. Для гідробіологічного та альгологічного аналізів проб відбір здійснювали безпосередньо у водному об'єкті (літоралі, або прибережній зоні). Поверхневі проби води відбирали з

глибини 10-15 см від поверхні води або з нижнього боку льоду. Для зразків придонних шарів проби відбирали в 30-50 см від дну.

Визначення видового складу мохоподібних проводили за результатами аналізу матеріалу, який було зібрано маршрутним методом на території Донецької області. Камеральна обробка матеріалів проводилася в лабораторних умовах. Гербарні зразки визначали стандартним порівняльно-морфологічним методом. Систематичний аналіз бріофітів проводили за системою, прийнятою М. Ф. V. Corley та ін., з доповненнями М. Ф. Бойка [11].

Зразки рослинного матеріалу збирали для моніторингових точок, що визначені вище. Найбільш інформативними ознаками (понад 92% ймовірності прогнозу [5]) було обрано:

- ступінь дефектності пилкових зерен (Ф-1);
- індекс трихоморізноманітності за особливостями скульптури поверхні листкової пластинки (Ф-2);
- індекси (2) матрикальної гетерокарпії та гетероспермії (Ф-3);
- індекси (2) тератологічної синкотилії та схизкотилії за особливостями будови атипового сем'ядольного апарату (Ф-4).

У ролі тест-об'єкту тварин для біоіндикації стану досліджуваних районів брали гусениць шовковичного шовкопряда чутливої породи (Б-1 поліпшена). Гусениць-мурашів відбирали для тестування ваговим методом, по 50 мг у 3-х повторах, у варіантах, де гусениць годували листом шовковиці з районів забруднення довкілля викидами техногенного походження, та у 5-ти повторах, у варіантах разової годівлі забрудненим листом з наступним спостереженням за динамікою загибелі голодуючих гусениць. У таких варіантах досліджень гусениць зберігали при +24°C, а в інших варіантах – після разової годівлі через 12 годин – у холодильній камері при +5°C.

Психофізіологічні дослідження проведено в лабораторних умовах за участю 100 обстежуваних у віці 18-23 років. Обстежуваними були студенти (чоловіки) 1-5 курсів вищого навчального закладу. Первинні та інтегральні психофізіологічні показники реєстрували за [12-19] для подальшого визначення психофізіологічного стану обстежуваних.

Для реалізації та побудови математичних моделей оцінки екологічного стану техногенно трансформованих територій Донецької області за допомогою технології комплексної біоіндикації використовували такі методи. Кореляційний та регресійний аналізи проводили за [20], аналіз зниження та нормування відмінностей – за [19], математичні розрахунки – за [21].

Обробку результатів досліджень проводили з використанням традиційних методів статистики і статистичних прикладних програм (Statistica V 5.5), ліцензійного пакета програми MedStat 3-я версія № MS 000015 та програми для математичних розрахунків MatLab 6.0.

Результати та обговорення

Проведено діагностику екологічного стану природних та трансформованих систем у промисловому регіоні за розробленою технологією комплексної біоіндикації, яка базується на визначенні інформативних морфо-функціональних та кількісно-якісних показників стану базидіоміцетів, нижчих і вищих рослин, комах і психофізіологічних детермінант людини. На досліджених екологічно забруднених територіях Донецької області спостерігаються такі значні та високі показники: вміст продуктів ПОЛ, рівень активності каталази в плодкових тілах базидіоміцетів; ступінь сапробності води; анатомо-морфологічні зміни мохів; структурна варіабельність у квіткових рослин-індикаторів; загибель гусені комах; зміни показників психофізіологічного стану людини.

Річні моніторингові дослідження з впровадженням мікологічних способів визначення екологічного стану місць зростання базидіоміцетів на відносно екологічно чистих (с. Дроновка Артемівського району, дендрарій Донецького ботанічного саду НАН України) та екологічно забруднених територіях (м. Донецьк, м. Макіївка, Мар'їнський район

Донецької області) виявили такі результати. Активність каталази та рівень процесів ПОЛ міцелію плодових тіл грибів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus*, які мешкали на територіях м. Донецька та м. Макіївки, вірогідно були вище в порівнянні з міцелієм плодових тіл із дендрарію ботанічного саду, Мар'їнського району і с. Дроновка. Отримані дані також показали ймовірну різницю активності каталази і інтенсивності процесів ПОЛ, характерних для досліджених видів макроміцетів.

Результати біоіндикації та оцінки екологічних умов існування гідробіонтів у районах дослідження при апробації технології альгоіндикації зведені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати біоіндикації водних об'єктів районів дослідження

Район дослідження	Індекс сапробності	Підзона сапробності	Екологічні умови існування планктону
Артемівський район, с. Дроновка (р. Сіверський Донець)	2,0375	β - α -мезосапробна	субнормальні
Артемівський район, с. Дроновка (р. Бахмут)	3,112	α - полісапробна	несприятливі
Краснолиманський район, с. Торское (р. Жеребець)	1,207	α -олігосапробна	нормальні
Старобешівський район (Старобешівське водосховище)	2,09	β - α -мезосапробна	субнормальні
м. Донецьк, Кіровський район	2,467	β - α -мезосапробна	субнормальні
м. Донецьк, Ворошиловський район	2,092	β - α -мезосапробна	субнормальні
м. Макіївка, Центральноміський район	2,312	β - α -мезосапробна	субнормальні

Більшість водойм досліджуваних районів Донецької області відносяться до мезосапробної зони забруднення (помірного забруднення), а умови існування гідробіонтів субнормальні або нормальні.

За результатами біоіндикаційних досліджень підтверджено можливість проведення трансплантації епіфітних мохів як методу активного біомоніторингу на території Донецької області. Встановлено, що реакція тканини листкових пластинок на забруднення атмосферного повітря відрізняється у різних видів мохів-трансплантатів у всіх зонах трансплантації і була найбільш вираженою в забруднених зонах. При порівнянні досліджуваних трансплантатів видів мохів за анатомічними змінами було виявлено, що в найбільшій мірі наявність ушкоджених листкових пластинок та гаметофітів у цілому була характерна для виду *Leptodictium riparium* (Hedw.) Warnst. у зонах із несприятливими екологічними умовами. Некротичні зміни у значних масштабах також проявилися в листкових пластинок трансплантатів *Ortotrichum fallax*. Це може свідчити про відносну чутливість цих видів моху до впливу шкідливих речовин атмосферного повітря. Було встановлено, що найстійкішим є вид *Leskea polycarpa* Hedw., оскільки загальна кількість відмерлих та пошкоджених клітин листкових пластинок у нього були найменшими в усіх досліджуваних зонах. Підтверджено пригнічення поллютантами генеративної функції мохоподібних (на прикладі трансплантатів виду *Ortotrichum fallax* (Bruch.)), що також може бути індикаційною ознакою забруднення атмосферного повітря. За результатами морфологічних змін трансплантатів мохів було визначено ступінь антропогенного навантаження в досліджуваних зонах м. Макіївка.

Результати даних фітоіндикаційного моніторингу для ромашки непахучої (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення інтегрального показника техногенного забруднення промислового регіону за даними для ромашки непахучої

Моніторингові точки		Ф-1	Ф-2	Ф-3	Ф-4
1	м. Донецьк, Ворошиловський р-н	49,13	6,20	7,20	13,18
2	м. Донецьк, Київський район	44,12	5,70	7,50	20,80
3	м. Макіївка, Центральноміський р-н	40,52	5,20	7,30	17,25
4	Мар'їнський район	10,13	2,10	1,81	4,20
5	Артемівський район (с. Дроновка)	9,23	2,09	1,90	5,33
Середнє значення		30,626	4,258	5,142	12,152
Рівень дисперсії		19,36654	2,005946	3,002719	7,273381

Варто відзначити, що в табл. 2 містяться абсолютні значення для комплексних подвійних показників: індекси матрикальної гетерокарпії та гетероспермії (Ф-3) та індекси тератологічної син- та схизокотилії за особливостями будови атипового сім'ядольного апарату (Ф-4), що є нововведенням у технологію та не було використано нами в попередніх дослідженнях. Найбільші показники фітоіндикаційних параметрів зафіксовано у Ворошиловському та Київському районах м. Донецька, а також у Центральноміському районі м. Макіївка. Значення фітоіндикаційних критеріїв були мінімальними в точках, що обрано в якості місцевого контролю та порівняльного регіонального стандартизованого місця збору за умов меншого впливу антропогенних факторів, що формують токсичний фон або призводять до суттєвих трансформацій екологічних систем природного змісту та складу.

Нова форма підрахунку абсолютних фітоіндикаційних значень у цьому випадку є більш досконалою та більш диференційно, дозволяє проводити оцінку за факторами токсичного навантаження, оскільки є змога виділити не тільки діапазон абсолютних значень, а специфіку використання генеративних показників будови рослинного організму для видів із широкою екологічною амплітудою. Для виду-індикатора принципово важливо при цьому утворювати насінний матеріал. Специфіка більш вдалої форми збору саме цих ознак полягає ще в можливості провести комплексний аналіз функціональної адекватності індикатора за вегетативно-генеративною сферою.

Апробована методика не є спрощеною, вона є адаптованою для польових зборів та адекватною для підрахунку абсолютних значень фітоіндикаційної значущості, адже обрані індикаційні критерії є більш інформативними, ймовірними скрининговими та відповідають моніторингологічним закономірностям збору інформації.

Результати моніторингу районів м. Донецька та обраних моніторингових зон Донецької області містяться у табл. 3, де наведено кількісне значення інтегрального показника структурної трансформації рослин-індикаторів та відповідний до нього рівень умов антропогенного навантаження до норм.

Таким чином, більшість територій Донецької області (за даними фітоіндикаційних досліджень) належать до місць, де рівень техногенного навантаження перевищує норми.

Аналіз результатів забруднення техногенними викидами в досліджуваних місцях м. Донецька з використанням шовковичного шовкопряду представлено на рис. 2.

Виявлено, що за першу добу найбільша загибель (95%) була в гусениць-мурашів, яких згодовували листям, узятим у Ворошиловському районі міста (вул. Артема). Загибель гусениць, яким згодовували лист, взятий поблизу Донецького металургійного заводу (ДМЗ), дорівнювала 85%, і відносно менше (63%) загинуло гусениць, яких годували листям, узятим в околицях Донецького коксохімічного заводу (ДКХЗ).

**Фітоіндикаційні показники локального скринінгу територій м. Донецька
та Донецької області**

№	Район	Максимальні фонові значення за відповідною шкалою	Умови (до норм, рівень навантаження)
Донецьк			
1	Будьоновський	79	недопустимий
2	Ворошиловський	81	недопустимий
3	Калінінський	71	перевищує
4	Київський	71	перевищує
5	Кіровський	68	перевищує
6	Куйбишевський	75	недопустимий
7	Ленінський	79	недопустимий
8	Петровський	80	недопустимий
9	Пролетарський	70	перевищує
Донецька область			
1	Артемівський (с. Дроновка)	13	нормальний
2	Артемівський (сmt. Часів Яр)	26	допустимий
3	Амвросіївський (с. Благодатне)	16	нормальний
4	Волноваський (с. Кирилловка)	19	нормальний
5	м. Дебальцеве	40	перевищує
6	м. Димитрово	43	перевищує
7	м. Єнакіїве	92	недопустимий
8	м. Костянтинівка	81	недопустимий
9	м. Красноармійськ	46	перевищує
10	Краснолиманський (сmt. Ямпіль)	12	нормальний
11	Мар'їнський (м. Курахове)	20	нормальний
12	м. Слов'янськ	22	нормальний
13	м. Харцизьк	37	перевищує
14	м. Краматорськ	81	недопустимий
15	м. Макіївка (Центральноміський р-н)	78	недопустимий
16	м. Маріуполь (Жовтневий р-н)	90	недопустимий

Слід зауважити, що загибель гусениць, яким згодовували лист шовковиці, взятий у Ворошиловському районі з дерев уздовж автотраси та з району ДМЗ, відбулася протягом перших 6 годин після годівлі. Гусениці, яким згодовували листя, взяті в Кіровському районі в дворах житлового комплексу, загинули протягом трьох діб, відповідно в першу добу – 50%; у другу – 25%; у третю – 5%. У контролі гусениці почали гинути тільки з четвертої доби.

Відповідно до прийнятої шкали визначено такий стан техногенного забруднення в досліджених точках: вул. Артема (Ворошиловський район) і територія ДМЗ – 5 балів (екологічний стан у край несприятливий); Кіровський район (житловий комплекс) та територія ДКХЗ – 4 бали (екологічний стан несприятливий). Припускається, що лист шовковиці в м. Донецьку є забрудненим різними токсичними речовинами, які осідають на його поверхні з атмосфери та всмоктуються кореневою системою з ґрунтів. При поїданні такого листа гусениці мають сповільнений розвиток і при залялькуванні дають неякісні кокони з нестандартними технологічними характеристиками. Як наслідок отримання неякісної грени, з невисоким відсотком відродження гусениць-мурашей.

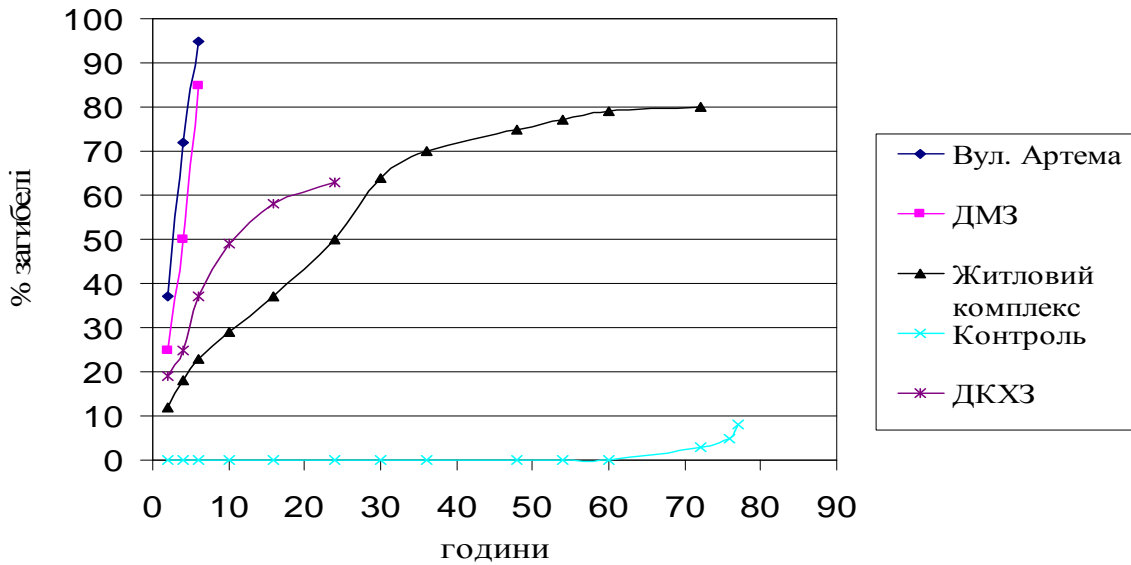


Рис. 2. Загибель гусениць-мурашів після одноразової годівлі листом шовковиці, взятим із районів із різним ступенем забруднення.

За результатами проведених психофізіологічних досліджень нами була перевірена попередня гіпотеза стосовно того, що психофізіологічний стан людей, які мешкають на територіях із різними екологічними умовами, вірогідно корелює з шкалою екологічної шкідливості [22]. Результати таких досліджень представлено на рис. 3.

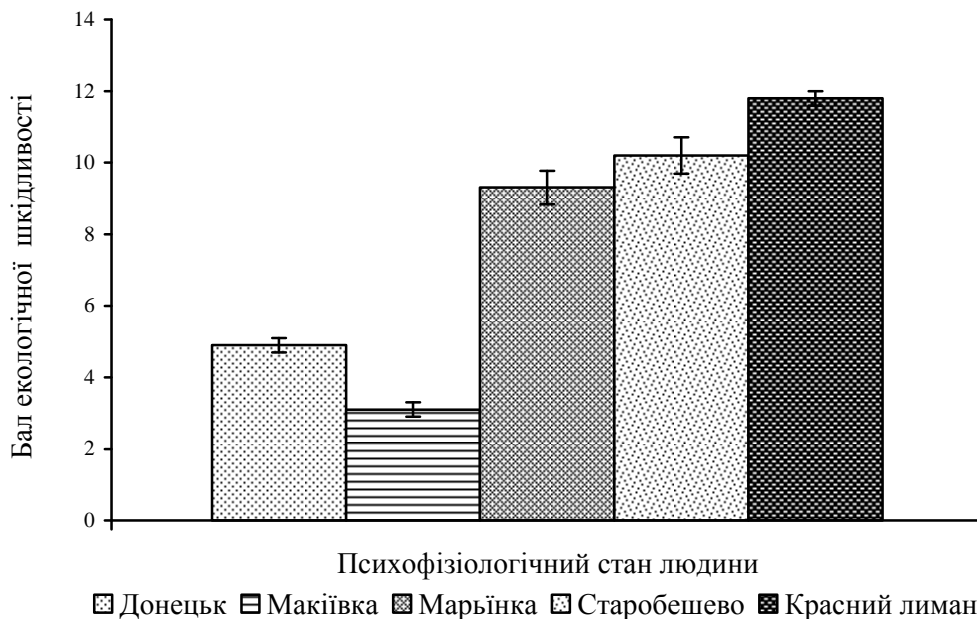


Рис. 3. Екологічні умови (за психофізіологічним станом людини) досліджених районів Донецької області.

Коефіцієнт кореляції між інтегральним показником психофізіологічного стану людини та рівнем впливу на організм екологічної шкідливості дорівнював $r = 0,78 \pm 0,08$ ($p < 0,01$). Узагальнена величина інтегрального показника психофізіологічного стану обстежених людей, які довгостроково мешкали на відносно екологічно чистих територіях Донецької області (Мар'їнський, Старобешівський та Краснолиманський райони), у середньому дорівнювала $10,4 \pm 0,03$ у.о. ($p < 0,01$), що характеризує низький рівень впливу екологічних умов на організм людини.

Для уточнення визначення інтегрального показника оцінки екологічного стану довкілля за розробленою технологією було проаналізовано результати її апробації у відносно екологічно чистих і забруднених територіях Донецької області.

Усі визначенні біоіндикаційні показники було приведено до уніфікованої шкали з однією розмірністю для їх подальшого нормування [19]. Приведення біоіндикаційних показників до уніфікованої шкали розмірності викладено нижче.

Спочатку для і-го показника, наприклад, активності каталази, розраховували середнє значення її величини (\bar{X}) за результатами визначень з усіх досліджень, які було проведено в Донецькій області. Далі розраховували стандартне відхилення (σ) і максимальне значення величини цього показника. Усі розраховані величини вносили до формули (1):

$$X_{\max(\text{область})_{i=1,2,3\dots n}} = (\bar{X}_{\text{область}} + 3\sigma) \quad (1)$$

де $\bar{X}_{\text{область}}$ – середнє значення і-го показника по області; $X_{\max(\text{область})_{i=1,2,3\dots n}}$ – максимальнє значення і-го показника по області; $i = 1, 2, 3\dots n$ – досліджені показники.

Після цих розрахунків визначали середнє значення цього показника, наприклад, активності каталази в дослідженому місті (районі) за період 2008-2009 рр. і позначали як ($\bar{X}_{(\text{місто})_{i=1,2,3\dots n}}$). Далі розраховували нормовану величину цього показника за формулою (2):

$$X_{\text{Нормірування}}^{i=1,2,3\dots n(\text{місто})} = \frac{\bar{X}_{(\text{місто})_{i=1,2,3\dots n}}}{X_{\max(\text{область})_{i=1,2,3\dots n}}} \quad (2)$$

У результаті нормування всі досліджені біоіндикаційні показники мали одну розмірність – умовні одиниці.

Далі була побудована відповідна матриця ($n \times m$) з n дослідженими елементами у такій формі:

	X_1	X_2	...	X_n
Y_1				
Y_2				
...				
Y_n				

де елементи $X_1 \dots X_n$ – це значення фактичних біоіндикаційних показників; елементи $Y_1 \dots Y_n$ – рівень екологічної шкідливості досліджених територій.

Для виявлення вірогідно значущих показників було проведено визначення парної кореляції (за Дж. Пірсоном) між змінами показників та екологічним станом досліджуваних територій окремо для кожного виду індикатора (вищі квіткові рослини, базидіоміцети, мохоподібні тощо). У результаті встановлено тісний вірогідний кореляційний зв'язок ($r = 0,67-0,99 \pm 0,06$, $p < 0,01$) між показниками кожного представника біоти. За результатами проведеного аналізу такими показниками були:

- висота стебла мохоподібних, *Bryum argenteum* ($r = 0,83 \pm 0,03$);
- каталазна активність базидіоміцетів, *Flammulina velutipes* ($r = 0,99 \pm 0,05$);
- виживаність гусениць, *Bombux mori* ($r = 0,67 \pm 0,10$);
- інтегральний показник психофізіологічного стану організму людини ($r = 0,71 \pm 0,07$);
- ступінь дефектності пилкових зерен, індекс трихоморізномінітності за особливостями скульптури поверхні листової пластинки, індекси матрикальної гетерокарпії та

гетероспермії, індекси тератологічної син- та схизокотилії за особливостями будови атипового сім'ядольного апарату ромашки непахучої, *Tripleurospermum inodorum* L. ($r = 0,97 \pm 0,04$).

На наступному етапі досліджень була проведена крос-кореляція дискретних функцій [21] між змінами показників відповідних представників біоти та екологічним станом досліджуваних територій. За результатами проведеного аналізу було виявлено вірогідний зв'язок у вигляді такої кореляційної матриці:

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Інтегральний показник оцінки екологічного стану середовища, бали	0,52	0,85	0,83	0,59	0,78	0,54

де X₁ – показник висоти стебла мохоподібних (*Bryum argenteum*); X₂ – показник каталазної активності базидіоміцетів (*Flammulina velutipes*); X₃ – показник виживаності гусениць (*Bombyx mori* L.); X₄ – одна із зазначених ознак реакції рослини (*Tripleurospermum inodorum* L.); X₅ – інтегральний показник психофізіологічного стану організму людини; X₆ – показник сапробності та видового різноманіття водоростей.

За результатами досліджень визначили інформативні біоіндикаційні показники для комплексної оцінки екологічного стану середовища за інтегральним показником. Визначення такого інтегрального показника проводили шляхом побудови математичних моделей. За допомогою лінійного регресійного аналізу було розраховано відповідні моделі для оцінки екологічного стану середовища за різним призначенням [19].

Перша модель (3) розрахована на визначення інтегрального показника екологічних умов для оцінки повітряного середовища й включає, крім коефіцієнтів вагомості кожного показника, нормовані на максимум величини зміни в досліджуваному регіоні, одного показника одного біологічного виду (мохоподібних, базидіоміцетів, вищих рослин, гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда).

$$Y = 5,45 X_1 - 3,5 X_2 + 0,9 X_3 + 1,29 X_4 - 5,53 \quad (3)$$

де Y – інтегральний показник екологічних умов, бали; X₁ – показник зміни каталазної активності базидіоміцетів (*F. velutipes*), ум. од; X₂ – показник зміни однієї з ознак реакції рослини (*T. inodorum* L.), ум. од; X₃ – показник зміни висоти стебла мохоподібних (*B. argenteum*), ум. од; X₄ – показник зміни виживаності гусениць (*B. mori*), ум. од.

Вірогідність прогнозу цієї моделі дорівнює 52%.

Друга модель (4) – менш оперативна порівняно з першою, але більш точна. Вона додатково включає визначення психофізіологічного стану людини, але виключає показник стану мохоподібних.

$$Y = 3,01 + 2,15 X_1 + X_2 + 6,66 X_3 - 4,54 X_4 \quad (4)$$

де Y – інтегральний показник екологічних умов, бали; X₁ – показник зміни каталазної активності *F. velutipes*, ум. од; X₂ – показник зміни однієї з ознак реакції *T. inodorum* L., ум. од; X₃ – інтегральний показник психофізіологічного стану людини, ум. од; X₄ – показник зміни виживаності гусениць *B. mori*, ум. од.

Вірогідність прогнозу цієї моделі досягає 85%.

Слід зазначити, що за розрахунками всі створені моделі є більш чутливими до екологічного стану середовища в порівнянні до раніше розробленої і мають опис ступеневих функцій 2-го, 3-го та 4-го порядку [19].

Для контролю за екологічним станом водного середовища запропонована технологія, яка заснована на визначенні кількісної видової різноманітності водоростей і коефіцієнта сапробності води зазначеного середовища. Ця технологія відрізняється від попередньої тим, що враховує реакцію біоіндикатора на вплив стічних і промислових вод.

Таким чином, за допомогою способів діагностики, які є складовими розробленої раніше технології комплексної біоіндикації середовища, дано оцінку екологічного стану досліджених територій Донецької області. Моніторингові дослідження підтвердили загальнобіологічну закономірність про те, що будь-який організм під впливом на нього нових факторів зовнішнього середовища, як правило, адаптується, набуваючи при цьому властивості і зміну норм реакції, що досягається за рахунок варіабельності морфо-фізіологічних властивостей.

За результатами апробації внесено необхідні корективи в розроблену технологію комплексної біоіндикації середовища. Підготовлено технологію комплексної оцінки екологічного стану індустріального регіону за біоіндикаційними показниками, за допомогою якої більш ґрунтовно можна здійснювати заходи, спрямовані на вирішення питань щодо поновлення і покращення стану середовища, здоров'я населення та біосфери.

Висновки

1. Установлена залежність від рівня забруднення середовища індустріального регіону: а) вмісту продуктів ПОЛ та рівня міцеліальної активності каталази в дикоростучих плодкових тілах базидіоміцетів; б) ступеня сапробності води; в) ступеня анатомо-морфологічних змін мохів; г) ступеня структурної трансформації квіткових рослин-індикаторів; д) виживаності гусениць комах; е) величини показників психофізіологічного стану людини.

2. Перспективними для біоіндикації забруднення атмосферного повітря є види мохів: *Amblystegium riparium* Bryol. eur. (за найбільш значними змінами, що спостерігаються візуально) і *Ortotrichum fallax* Bruch. (як вид із максимальним коливанням довжини та ширини листової пластинки в залежності від ступеня забруднення атмосферного повітря). Найстійкішим до умов інтенсивного атмосферного забруднення є вид моху *Leskea polycarpa* Hedw.

3. Більшість водних об'єктів Донецької області є забрудненими з загальною тенденцією погіршення ситуації (середня сапробність води по області дорівнює 2,13 – β-мезосапробна зона), а деякі об'єкти є вкрай забрудненими і умови життя гідробіонтів у них несприятливі.

4. За показниками стану структурної трансформації квіткових рослин (*Echium vulgare* L., *Reseda lutea* L., *Cichorium intybus* L., *Tripleurospermum inodorum* L. Sch. Bip., *Plantago major* L., *Tanacetum vulgare* L.) більшість територій Донецької області належить до місць, де рівень техногенного навантаження перевищує норми (понад 60% територій) або є недопустимим (5% територій).

5. Виживаність гусениць-мурашів шовковичного шовкопряду залежить напряду від інтенсивності забруднення листа шовковиці, в якому накопичуються токсичні речовини вихлопних газів як поверхнево з атмосфери, так і сокорухом із ґрунтів. На стан рослин (шовковиці) значно впливають викиди промислових підприємств м. Донецька, м. Макіївки, м. Авдіївки.

6. Величина інтегрального показника психофізіологічного стану обстежених, які довгостроково мешкали в різних районах м. Донецька та м. Макіївки, відповідає несприятливим екологічним умовам і характеризує підвищений рівень їхнього впливу на людину. Визначення індивідуальних психофізіологічних показників людини дозволяє вірогідно оцінити техногенне навантаження територій.

7. Створено математичні моделі оцінки екологічного стану середовища індустріального регіону за комплексом інформативних біоіндикаційних показників.

8. Підготовлено проект технології комплексної оцінки екологічного стану середовища індустріального регіону за біоіндикаційними показниками, в яку внесено корективи за результатами її апробації. Запропоновано технологію альгоіндикації, яка дає можливість найбільш повно характеризувати умови існування гідробіонтів й аналізувати тенденції змін, що відбуваються у водоймах Донбасу різних типів. Ця технологічна система є досить чутливою при оцінці динаміки з різних позицій (у багаторічному, сезонному аспектах), а також є достовірною при визначенні тенденцій зміни з часом.

Список літератури

1. Беспалова С. В. Розробка способів біоіндикації екологічного стану Донбасу / С. В. Беспалова, О. С. Горещкий, М. В. Говта та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: Міжвід. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2007. – Вип. 7. – С. 17–24.
2. Беспалова С. В. Биотехнологии для нормализации экологии (программа создания комплекса) / С. В. Беспалова // 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 / С. В. Беспалова // Энергия инноваций. – Донецк, 2005. – № 4. – С. 51–53.
4. Беспалова С. В. Биологическая экология: Моделирование жизнеспособных биотических организаций / С. В. Беспалова, В. А. Максимович // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межвед. сб. научн. работ. – Донецк: ДонНУ, 2003. – Вып. 3. – С. 11–18.
5. Safonov A. I. Phytoecological characteristics of industrial urban environment / A. I. Safonov, Y. S. Safonova // Problems of ecology and nature protection of technogen region (the interdepartmental collection of scientific works). – Donetsk: DonNU, 2007. – Iss. 7. – P. 70–77.
6. Беспалова С. В. Апробування способів біоіндикації екологічного стану Донбасу / С. В. Беспалова, О. С. Горещкий, О. З. Глухов та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: Міжвід. зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – Вип. 8. – С. 24–33.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Бухало А. С. Базидіальні макроміцети з лікарськими властивостями / А. С. Бухало, Е. Ф. Соломко, Н. Ю. Митропольская // Укр. ботан. журн. – 1996. – 53, № 3. – С. 192–201.
11. Бойко М. Ф. Таксономічна структура бріофлори степової зони України / М. Ф. Бойко // Чорноморський ботанічний журнал. – 2007. – Т. 3, № 1. – С. 5–29.
12. Айзенк Г. Дж. Коэффициент интеллекта / Г. Дж. Айзенк. – К.: Гранд, 1994. – 112 с.
13. Анастаси А. Психологическое тестирование: Кн. 2: Пер. с англ. / А. Анастаси. – М.: Педагогика, 1982. – 234 с.
14. Дюк В. А. Проблемы применения формальных методов формирования метапонятий при концептуальном анализе знаний / В. А. Дюк // Методы и системы принятия решений. Системы поддержки процессов проектирования на основе знаний. – Рига: Рижский ун-т, 1991. – С. 90–95.
15. Завалишина Д. Н. Психологический анализ оперативного мышления / Д. Н. Завалишина. – М.: Наука, 1985. – 182 с.
16. Агаджанян Н. А. Экологическая физиология человека / Н. А. Агаджанян, А. Г. Марачев, Г. А. Бобков. – М.: Крук, 2008. – 415 с.
17. Бецкий О. В. Миллиметровые волны низкой интенсивности в медицине и биологии / О. В. Бецкий, Н. Д. Девятков, В. В. Кислов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – № 4. – С. 13–29.
18. Основы профессионального психофизиологического отбора / Н. В. Макаренко, В. А. Пухов, Н. В. Кольченко и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 244 с.
19. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности: Справочное издание / Под ред. С. А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
20. Лакин Г. Ф. Биометрия. Учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин. – М.:

Высш. шк., 1980. – 293 с.

21. *Справочник по прикладной статистике*. Т. 2: Пер. с англ. / Под ред. Э. Лойда, У. Ледермана, С. А. Айвазяна, Ю. Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 526 с.

22. *Патент 27501* України. Спосіб оцінки впливу екологічних умов на людину за психофізіологічним станом організму / С. В. Беспалова, М. В. Говта, О. С. Горецький, В. О. Максимович. Заявка № u200702054 від 26.02.2007, МКІ кл. А61В 5/16, Бюл. № 18 від 12.11.2007.

Беспалова С. В., Горецкий О. С., Глухов А. З., Максимович В. А., Злотин А. З., Говта Н. В., Маркина Т. Ю., Лялюк Н. М., Маслодудова Е. Н., Сафонов А. И., Машталер А. В., Федотов О. В. **Разработка технологии комплексной биоиндикационной оценки окружающей среды техногенного региона.** – По результатам апробации внесены коррективы в разработанную технологию комплексной биоиндикации окружающей среды. Подготовлено технологию комплексной оценки состояния техногенного региона по информативным биоиндикационным показателям, с помощью которой более обоснованно можно осуществлять мероприятия, направленные на восстановление и улучшение состояния окружающей среды, здоровья населения и биосферы.

Ключевые слова: технология, биоиндикация, состояние окружающей среды.

Bespalova S. V., Goretsky O. S., Glukhov A. Z., Maksimovich V. A., Zlotin A. Z., Govta N. V., Markina T. Y., Ljaljuk N. M., Maslodudova E. N., Safonov A. I., Mashtaler A. V., Fedotov O. V. **Creation of complex bioindication technology of assessment of technogenic region environment.** – On the results of approbation corrections are made in the elaborated technology of complex bioindication of environment. A technology of complex assessment of technogenic region state using informative bioindication indices. With the help of this technology it is possible to carry out activities on renewal and improving the state of environment, human health of population and biosphere.

Key words: technology, bioindication, the state of environment.