

УДК 504 : 57.08

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

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СЕРЕДОВИЩА ЗА ПОРОГАМИ ЧУТЛИВОСТІ БІОІНДИКАТОРІВ

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: eco99@i.ua

Беспалова С. В., Горецький О. С., Глухов О. З., Злотін О. З., Максимович В. О., Говта М. В., Лялюк Н. М., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М., Машталер О. В., Сафонов А. І., Федотов О. В., Штірц А. Д. Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогоми чутливості біоіндикаторів. – Вперше визначено характеристики порогової чутливості біоіндикаторів (водоростей, грибів, мохоподібних, квіткових рослин, кліщів, комах та людини) на дію екологічно несприятливих факторів середовища, за якими розроблено критерії оцінки екологічного стану довкілля. Підготовлено матеріали для формування бази даних порогів чутливості відповідних біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища.

Ключові слова: критерії оцінки, пороги чутливості, біоіндикація, екологічний стан середовища.

Вступ

Для оцінки екологічного стану середовища з використанням біоіндикаторів передбачалась розробка критеріїв оцінки за порогоми чутливості відповідних біоіндикаторів, які були визначені на попередньому етапі [1]. Визначенні критерії можна буде застосовувати для обґрунтування і розробки нормативів якості довкілля та здійснення заходів, спрямованих на покращення стану середовища, здоров'я населення і біосфери.

Матеріал і методи дослідження

Для дослідження видового складу мікроводоростей використовували стандартні методи [2]. Визначення видового складу фітопланктону проводили шляхом мікроскопічного аналізу зразків водоростей за допомогою мікроскопу МБІ-3 при збільшенні 40x і 90x та мікроскопу Zeiss Primo Star (Німеччина). Для визначення видової приналежності використовували визначники водоростей для прісних вод. Для встановлення порогів чутливості до дії факторів середовища виділяли екологічні групи, використовуючи класифікаційні схеми С. С. Барінової [3]. Критерієм для визначення порогу чутливості водоростей були обрані абсолютні показники наявності чи відсутності виду в даних умовах існування. Оцінку порогів проводили за декількома параметрами: пристосованість до умов існування, температурна пристосованість, реофільність, галобність, сапробність, рН води.

Об'єктами дослідження були плодові тіла та штам F-610 базидіального гриба *F. velutipes*. Для вивчення динаміки росту і інтенсивності процесів ПОЛ штам F-610 культивували поверхнево на глюкозо-пептонному середовищі при 27,5°C протягом 20 діб. Початкове рН живильного середовища 6,0-6,5 од. Ріст культури оцінювали за накопиченням біомаси (абсолютно сухий міцелій) ваговим методом, а активність процесів ПОЛ – тестом з тіобарбітуровою кислотою (ТБК) за вмістом ТБК-активних продуктів ПОЛ (ТБК-АП) [4]. рН розчинів визначали потенціометричним методом. Одержані цифрові дані обробляли за методом дисперсійного аналізу, порівняння середніх величин проводили за методом Дункана із застосуванням пакету програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів.

Камеральна обробка матеріалів бріофлори проводилася в лабораторії на кафедрі ботаніки та екології Донецького національного університету. Гербарні зразки визначали стандартним порівняльно-морфологічним методом за визначниками та флорами, а також за окремими монографічними обробками. Проведення географічного аналізу бріофлори дослідженої території виконано на підставі основних принципів класифікації А. С. Лазаренка з доповненнями М. Ф. Бойка. Ідентифікацію мохоподібних та анатомо-морфологічні

дослідження проводили за допомогою бінокулярних мікроскопів «Ergaval» та МБІ-3, а також стереоскопічного мікроскопу МБС-1 за загальноприйнятою методикою.

Визначення порогу чутливості рослин до стресових умов проводили вимірюванням довжини кореня та надземної частини рослин відносно контролю, зміну яких залежно від діючих доз факторів стресу визначали у разі пригнічення життєдіяльності. За допомогою лінійних приладів вимірювали довжину надземної та підземної частин рослин злаково-бобової травосуміші (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski та *Trifolium pratense* L.) та визначали їх співвідношення, порівнювали данні з еталонними екземплярами та за допомогою підрахунку спеціального сумарного коефіцієнту співвідношення, що дорівнює 1,00, робили висновок про ступінь навантаження на природні умови. Вказаний спосіб визначення порогу чутливості рослин до стресових умов було проведено на рослинах *E. repens* та *T. pratense*, що зростали в однакових пропорціях не менш ніж 10 особин на м². Пробні площі було закладено у 1-км зоні впливу підприємств: Донецький металургійний завод, Металургійний комбінат «Азовсталь», ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», Єнакіївський металургійний завод, Макіївський металургійний комбінат ім. С. М. Кірова, Краматорський металургійний завод ім. В. В. Куйбишева, Костянтинівський металургійний завод, а також у контрольних фонових умовах, де вплив токсичних факторів на середовище існування рослин мінімальний: с. Серебрянка та с. Дронівка Артемівського району Донецької області. Рослини в кількості по 15 особин кожного виду збирали у третій декаді червня. Після викопування рослин за допомогою лінійки вимірювали довжину надземної (а) та підземної (в) частини, визначали індекс співвідношення (к) за формулою: $k = a : v$ для кожної рослини окремо, а потім сумарний коефіцієнт співвідношення як середнє між двома індексами. Таким чином, за лінійними показниками здійснювали діагностику пригнічення або стимулювання життєдіяльності рослин. Дані достовірні на 0,95%-вому інтервалі вірогідності. Повторність експерименту – 15 зразків. Альтернативний спосіб оснований на тому, що готували однорідну вибірку насінного матеріалу рослини-індикатора. Тест-об'єкти вирощували в умовах територій металургійного, хімічного та коксохімічного промислових комплексів та підраховували максимальні показники кількості утворених за два вегетаційні сезони (з квітня до жовтня наступного року) пагонів для кущових злаків та визначали максимальні розміри діаметру проективного покриття куща злаку, утвореного однією насінною, за допомогою спеціально розробленої 5-бальної шкали встановлювали комбінований вплив забруднюючих об'єктів промисловості на рослини. При цьому такий спосіб визначення комбінованого ефекту промислового забруднення на рослини було апробовано на рослинах *Dactylis glomerata* L., *Bromus arvensis* L. та *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, що висаджували в квітні на пробних площах, які характеризувалися різним ступенем техногенного навантаження на природне середовище [1], а шкалу оцінки розробили саме для критеріальної бази порогів чутливості.

Оцінку якості навколишнього середовища і його зміни при антропогенному впливі здійснено за допомогою аналізу екологічної структури угруповань панцирних кліщів на прикладі відвалів гірничо-видобувної промисловості Донецької області. Проаналізовано матеріал, зібраний на техногенних катенах: териконах шахт «Трудівська», ім. М. Горького, «Панфіловська», № 5/6, № 29 м. Донецька, «Червоногвардейська» м. Макіївки, шахт № 12 і № 30 м. Шахтарська та відвалах Новотроїцького доломітного комбінату. Загалом оброблений матеріал за техногенними катенами становив 755 ґрунтових проб та 6600 екз. дорослих панцирних кліщів. Для порівняння використано матеріал, що був зібраний на контрольних ділянках природних катен: байрачна балка лісопарку «Путилівський ліс» м. Донецька (45 ґрунтових проб, з яких вилучено 2221 екз. дорослих панцирних кліщів) та степова балка відділення Українського природного степового заповідника «Хомутовський степ» (210 ґрунтових проб, з яких вилучено 8320 екз. дорослих панцирних кліщів). Збір ґрунтових проб (об'ємом 250 см³) та обробка матеріалу проводились за загальноприйнятою методикою Е. М. Буланової-Захваткіної [5]. Збір проб виконувався по трансекті вздовж катени у 5-15-кратній повторності на кожній позиції: вершина – елювіальна, схил –

транзитна і підніжжя – акумулятивна позиція. Видова належність панцирних кліщів встановлювалась при мікроскопіюванні за допомогою стереоскопічних біноклярних мікроскопів PZO (Польща) та Zeiss Primo Star (Німеччина). Для дослідження структури домінування угруповань панцирних кліщів використовували індекс домінування за шкалою Г. Енгельмана [6]. Розподіл угруповань панцирних кліщів за життєвими формами наведено відповідно до робіт Д. О. Криволицького [7, 8]. Для оцінки екологічного різноманіття панцирних кліщів досліджуваних ділянок використано інформаційно-статистичний індекс Шеннона [9]. Розрахунки проведено з використанням оригінальної комп'ютерної програми, розробленої у пакеті MS Excel.

У досліджах з визначення меж чутливості тест-об'єкта до дії інсектициду використовували гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда одного часу виходу з яєць у день їх відродження. Для досліджень було обрано стабільно високу за життєздатністю породу шовковичного шовкопряда Білококонна-2 поліпшена (Б-2 пол.) [10-12]. Проведено 3 серії дослідів. Брало широкий діапазон концентрацій фосфор-органічного інсектициду фосфаміду (від 0 до 0,1 мг/л), що забезпечило загибель гусениць від 0 до 100%. Кожна концентрація випробовувалась у 5-кратній повторності (по 30 гусениць-мурашів у повторності). Для визначення практичних меж чутливості біоіндикатору гусениць-мурашів використовували метод сухої плівки [13]. Спостереження за виживанням гусениць-мурашів проводили до початку загибелі гусениць у контролі. Облік загиблих гусениць проводили щодня. Результати спостережень обробляли статистично (достовірність відмінностей визначали за допомогою t-критерію Ст'юдента). Отримані результати (значення відсотку загиблих) переводили в пробіти для встановлення лінійної залежності і визначення ефекту (смертності) від певної дози токсиканту. За отриманою кореляційною залежністю визначали межі чутливості біоіндикатору до дози токсиканту [14].

Обстежено 100 осіб у віці 18-24 років. З них 70 осіб жіночої статі і 30 – чоловічої, які довгостроково (більше 10 років) мешкали на техногенно-трансформованих територіях. За загальноприйнятими методами [15-17] реєстрували психофізіологічні показники людини. Оцінка екологічного стану територій Донецької області базувалася на експертних оцінках фахівців у певних галузях. Розрахунок показників проводили загальноприйнятими статистичними критеріями, із застосуванням відповідного програмного забезпечення (MedStat 3-я версія № MS 000015 і програми для математичних підрахунків MatLab 6.0).

Результати та обговорення

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогамі чутливості водоростей.

Вперше більш-менш повно проаналізовано пороги чутливості водоростей континентальних водойм [1, 18-23]. Вперше для південного сходу України досліджено пороги чутливості водоростей-індикаторів забруднення й створено бази даних порогів для таких факторів: температури, мінералізації, рН води на підставі повного альгологічного аналізу альгофлори закритих штучних водойм різного цільового призначення та різного типу експлуатації [18, 22]. Створена база даних, яка включає списки видів водоростей-індикаторів забруднення водойм Донбасу за блоками основних екологічних факторів водойм (температура, мінералізація, рН). Перевага розробки над аналогами полягає у більш повному врахуванні більшості екологічних чинників у континентальних водоймах Донбасу. Для визначення порогів чутливості водоростей до умов існування були з'ясовані відповідні характеристики (табл. 1, 2).

На підставі отриманих результатів розроблена шкала оцінки стану водойм за різними критеріями, наприклад, за сумісними критеріями (табл. 3).

Система оцінки екологічних параметрів апробована на водоймах різних типів: річках (Сіверський Донець, Кальміус, Нижня Кринка, ріки Північного Приазов'я та ін.), водосховищах (Павлопольське, Старобешівське, Клебан Бик, Волинцівське та ін.), ставках (міст Донецьк, Макіївка, Димитров, Шахтарськ та ін.), Слов'янських солоних озерах.

Таблиця 1

Пристосованість водоростей до умов існування

| Умовне позначення | Характеристика умов існування | Морфологічні характеристики водоростей |
|-------------------|--|---|
| B | бентосний у широкому значенні, пов'язаний із субстратом у водному середовищі | наявність морфологічних структур до прикріпленого способу життя (підшви, слизові утворення тощо) |
| S | грунтовий, наземні субстрати | наявність морфологічних структур до прикріпленого способу життя (підшви, слизові утворення тощо) та пристосування до наземного способу життя (слизові піхви, чохли) |
| pB | фікобіонт (лишайник) | специфічні структури та пристосування до симбіотного способу життя |
| P-B | планктонно-бентосний | має утворення для планктонного способу життя, здатний пересуватися по поверхні донних відкладень, переважно має видовжену форму тіла |
| P | планктонний | має пристосування до планктонного способу життя (вирости, шипи, краплі жиру та ін.) |
| Ep | епіфіт | має вирости для прикріплення до поверхні рослин або утворення для пересування по поверхні |

Таблиця 2

Пристосованість водоростей до динаміки вод (реофільність)

| Умовне позначення | Характеристика динаміки вод |
|-------------------|---------------------------------|
| st | стоячі |
| str | тікучі |
| st-str | стоячо-тікучі та/або індиферент |
| aer | аерофільний |
| geoph | реофільний |

Таблиця 3

Шкала оцінки екологічного стану середовища за діагностичними критеріями водоростей

| Клас якості | Умови існування організмів | Значення індексу сапробності (за Пантле і Буком) | Підзона сапробності | Значення рН води |
|-------------|----------------------------|--|---------------------|------------------|
| I | сприятливі | < 1,0 | β-олігосапробна | 6,5 – 8,0 |
| II | нормальні | 1,0 – 1,5 | α-олігосапробна | 6,5 – 8,5 |
| | | 1,6 – 2,0 | β-мезосапробна | |
| III | субнормальні | 2,1 – 2,5 | β-α-мезосапробна | 7,0 – 8,0 |
| IV | несприятливі | 2,6 – 3,0 | α-мезосапробна | 6,0 – 8,5 |
| | | 3,1 – 3,5 | α-полісапробна | |
| V | вкрай несприятливі | > 3,5 | полісапробна | 6,0 – 9,0 |

Отримані результати баз даних порогів чутливості водоростей були апробовані на фітопланктоні середньої течії р. Нижня Кринка. Результати визначення пристосованості видів до певного біотопу представлені в табл. 4.

Пристосованість визначених видів р. Нижня Кринка до певного біотопу

| Систематичний відділ | B* | S | Pb | P-B | P | Ep |
|--------------------------|----|---|----|-----|----|----|
| Суанoprokaryota | 1 | 2 | 0 | 6 | 5 | 0 |
| Euglenophyta | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Bacillariophyta | 25 | 1 | 0 | 10 | 1 | 0 |
| Chlorophyta | 3 | 4 | 1 | 22 | 9 | 2 |
| Загальна кількість видів | 29 | 6 | 1 | 41 | 15 | 2 |

Примітка. * – скорочення екологічних типів відповідно до табл. 1.

Основу угруповань фітопланктону ріки становили планктонно-бентосні види (44% від загального числа видів). Менш представлені були бентосні форми (31% від загального числа індикаторних видів). У складі певних видів водоростей були виявлено фікобіонт (*Chlorella vulgaris*) і 2 епіфітні види (*Chaetopeltis orbicularis* і *Characium ornithocephalum*). Типовими представниками планктонно-бентосної групи були *Monoraphidium arcuatum*, *M. contortum*, *M. griffithii*, *M. minutum*, *Oocystis borgei*, *Scenedesmus falcatus*, *S. intermedius*, *Microcystis pulverea*, *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*. Серед бентосних видів можна вказати *Amphora lineolata*, *A. veneta*, *Caloneis amphisbaena*, *Cylindrotheca gracilis*, *Cymbella cymbiformis*, *C. tumida*. У цілому домінували планктонно-бентосні види (41), субдомінантами були бентосні види (29), на третьому місці – планктонні види (15).

Аналіз порогу температурної пристосованості показав (табл. 5), що домінували водорості, які пристосовані до помірних температурних умов (9 видів).

Таблиця 5

Пороги чутливості визначених видів водоростей до температури

| Систематичний відділ | warm | cool | temp | eterm |
|--------------------------|------|------|------|-------|
| Суанoprokaryota | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Bacillariophyta | 0 | 1 | 9 | 0 |
| Chlorophyta | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Euglenophyta | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Загальна кількість видів | 1 | 1 | 9 | 2 |

Примітка. warm – теплолюбні види, cool – холодолюбні види, temp – помірні та/або індиферентні види, eterm – евртермні види.

Серед представників відділу Суанoprokaryota був виявлений один теплолюбний вид (*Phormidium abiguum* Gom.). Серед представників відділу Bacillariophyta більше було помірних або індиферентних видів (9): *Cymbella ventricosa* Ktz., *C. cymbiformis*, *C. tumida*, *Gomphonema laenceolatum* Ehr. та ін. Також для представників даного відділу був виявлений один холодолюбний вид – *Gyrosigma acuminatum* (Ktz.) Rabh. Серед представників відділу Chlorophyta не було виявлено видів, що пристосовані до певного термічного режиму; обидва види, що належать до відділу Euglenophyta, були евртермними.

Реофільність виду – це вимогливість до умов рухливості середовища існування. Із числа визначених видів всього було виявлено 2 індикаторні групи за реофільністю: види, що характерні для стоячих вод, і види, що характерні для стоячо-тікучих умов або індиферентні до рухливості середовища, до того ж друга група була більш чисельною (29 видів водоростей з 40 індикаторних). Основу цієї групи склали представники відділу Chlorophyta (76% від загального числа індикаторів стоячо-тікучих умов). Із цієї індикаторної групи можна назвати: *Oscillatoria limosa*, *Cymbella tumida*, *Navicula radiosa*, *Surirella capronii* Breb. Не було виявлено аерофільних, реофільних видів.

Вивчення галобності видів (табл. 6) показало, що найбільш численною була група олігогалобов-індиферентний (76% від загального числа індикаторів галобності). Менше представленими були групи олігогалобів-галофілів (10 видів) і мезогалобів (5 видів).

Таблиця 6

Галобність визначених видів водоростей

| Систематичний відділ | mh | i | hl | hb |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Суанопрокaryota | 0 | 7 | 4 | 1 |
| Bacillariophyta | 4 | 26 | 5 | 1 |
| Chlorophyta | 0 | 20 | 1 | 0 |
| Euglenophyta | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Загальна кількість видів | 5 | 53 | 10 | 2 |

Примітка. mh – мезогалоби, i – олігогалоб-індиференти, hl – олігогалоб-галофіли, hb – олігогалоб-галофоби.

Серед представників відділу *Суанопрокaryota* найбільше виявлено олігосапробів-індиферентів (7 видів): *Anabaena sphaerica*, *Merismopedia glauca*, *M. punctata*, *Dactylococcopsis irregularis* та ін. Також для даного відділу було визначено 4 олігогалоба-галофіла (*Merismopedia tenuissima*, *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria limosa*, *O. tenuis*) і один олігогалоб-галофоб (*Dactylococcopsis acicularis*).

Для відділу *Bacillariophyta* найбільше було визначено олігогалобів-індиферентів (26 видів). Субдомінантами були олігогалоби-галофіли (5 видів): *Caloneis amphisbaena*, *C. bacillum*, *Diatoma elongatum* та ін. Також для цього відділу було визначено 4 види-мезогалоби (*Amphora lineolata*, *Nitzschia closterium*, *Pleurosigma elongatum*, *Entomoneis alata*) і 1 олігогалоб-галофоб (*Encyonema elginense*). Серед представників відділу *Chlorophyta* найбільше було виявлено олігогалобів-індиферентів (20 видів), а також 1 вид олігогалоб-галофоб (*Chlorella vulgaris*). Серед представників відділу *Euglenophyta* відзначений 1 вид мезогалоб (*Euglena clara* Ehr.). Серед визначених водоростей відсутні полігалоби, олігогалоби і евригалінні види.

За ацидофільність видів (приуроченості до умов рН) були відзначені всі індикаторні групи (табл. 7).

Таблиця 7

Пристосованість видів до умов рН (ацидофільність)

| Систематичний відділ | ind | alf | alb | acf |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Суанопрокaryota | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Bacillariophyta | 8 | 17 | 2 | 1 |
| Chlorophyta | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Euglenophyta | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Загальна кількість видів | 16 | 17 | 2 | 1 |

Примітка. ind – індиференти-нейтрофіли, alf – алкаліфіли, alb – алкалібіонти, acf – ацидофіли.

Основу склали алкаліфіли (17 видів) і індиференти-нейтрофіли (16 видів). Із числа діатомових водоростей відмічений один вид ацидофіл (*Encyonema elginense*).

За розподілом водоростей за зонами сапробності найбільше видове різноманіття спостерігали серед олігосапробіонтів і β-мезосапробіонтів (по 13 і 17 видів відповідно).

Таким чином, у фітопланктоні середньої течії р. Нижня Кринка домінували планктонно-бентосні види, що характерні для стоячо-тікучих олігогалобних водойм з нейтрально-слабколужною реакцією і помірним температурним режимом. Характер забруднення за сапробністю помірний з не порушеними процесами самоочищення.

Результати роботи впроваджені в роботу санітарно-епідеміологічних станцій м. Донецька (Кіровський, Київський райони), екологічних лабораторій м. Донецька та області та можуть бути рекомендовані для включення в існуючу систему екологічного моніторингу.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порозами чутливості грибів.

Численні роботи щодо використання вищих грибів у якості біоіндикаторів, які відкривають новий напрямок їх практичного застосування, не враховують біохімічні показники цих організмів [24-26].

Динаміка росту (накопичення біомаси) та інтенсивність процесів ПОЛ у міцелії та КФ штаму F-610 встановлені у попередніх дослідженнях [4] та використовувались в подальшому з метою вивчення як впливу бензопірену на ПОЛ культури *F. velutipes*, так і з'ясування порогів її чутливості до цього полютанту.

Результати вивчення інтенсивності процесів ПОЛ штаму F-610 залежно від часу експозиції у культуральній рідині бензопірену у концентрації 0,01% представлені у табл. 8. Штам F-610 культивували протягом 5 діб – до досягнення максимальної інтенсивності процесів ПОЛ, після цього в колби вносили бензопірен.

Таблиця 8

Вміст продуктів ПОЛ штаму F-610 гриба *Flammulina velutipes* залежно від часу експозиції бензопірену в концентрації 0,01%

| Час експозиції бензопірену, доба | Вміст ТБК-АП, нмоль/ г (мл) | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | Міцелій | | КФ | |
| | Дослід | Контроль | Дослід | Контроль |
| 1 | 15,50 ± 0,01 | 16,77 ± 0,05 | 26,75 ± 2,00 | 11,70 ± 0,20 |
| 2 | 69,05 ± 1,88 | 16,20 ± 0,10 | 28,30 ± 3,68 | 11,00 ± 0,68 |
| 3 | 48,75 ± 0,92 | 16,20 ± 0,05 | 68,40 ± 1,84 | 10,65 ± 0,92 |
| 4 | 40,05 ± 6,29 | 15,15 ± 0,03 | 70,25 ± 0,92 | 10,50 ± 0,27 |
| 5 | 38,10 ± 3,25 | 14,85 ± 0,13 | 40,35 ± 1,34 | 9,55 ± 0,05 |

Зіставлення отриманих показників у порівнянні з контролем показує достовірний вплив бензопірену на вміст ТБК-АП як в міцелії, так і в культуральному фільтраті. Дослідні культури мали вищі показники інтенсивності ПОЛ міцелію, за виключенням першої доби експозиції діючої речовини. Максимальна активність ПОЛ в міцелії, що перевищувала в 4,3 рази контроль, була зафіксована на 2 добу експозиції бензопірену. Максимальний вміст продуктів ПОЛ у КФ дослідних культур, який перевищував в 6,4-6,7 рази контроль, зафіксовано на 3 і 4 добу після внесення бензопірену.

Далі вивчали вплив різних концентрацій бензопірену на інтенсивність процесів ПОЛ штаму F-610 (табл. 9). Штам культивували в стандартних умовах протягом 5 діб, після чого в колби вносили полютант у кінцевій концентрації від 0,005 до 0,15%. Обрані концентрації перевищують ГДК бензопірену для ґрунту (згідно з ГН МОЗ СРСР від 19.11.1991 № 6229-91) – 0,02 мг/кг. Вміст продуктів ПОЛ визначали через 24 години експозиції полютантів.

Культури, у культуральну рідину яких вносили бензопірен, мали вищі показники ТБК-АП в порівнянні з контролем. Поріг чутливості на бензопірен – найменша концентрація, яку може фіксувати штам F-610 в умовах дослідів, є 0,005%. При цій концентрації вміст ТБК-АП у міцелії перевищує контрольний у 2,17 рази, а у культуральній рідині – у 1,77 рази. Максимальна кількість продуктів ПОЛ – ТБК-АП в міцелії (в 9,9 рази вища за контроль) та культуральному фільтраті (в 7,9 рази вища за контроль) була зафіксована при концентрації бензопірену 0,05%. Подальше збільшення концентрації бензопірену у КФ від 0,1 до 0,3% веде до поступового зниження інтенсивності процесів ПОЛ порівняно з максимумом, однак вміст ТБК-АП не є меншим за контроль. Отже, в ході дослідів верхній поріг чутливості дослідної культури до цього полютанту не встановлено.

Вплив різних концентрацій бензопірену на вміст продуктів перекісного окиснення ліпідів штаму гриба F-610 *Flammulina velutipes*

| Концентрація бензопірену, % | Вміст ТБК-АП, нмоль МДА/г (мл) | |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------|
| | Міцелій | КФ |
| 0,005 | 39,36 ± 0,52 | 20,67 ± 0,95 |
| 0,01 | 48,75 ± 0,92 | 68,40 ± 1,84 |
| 0,05 | 167,50 ± 0,05 | 93,30 ± 0,45 |
| 0,1 | 62,03 ± 0,82 | 57,68 ± 0,45 |
| 0,15 | 52,93 ± 0,07 | 48,87 ± 0,21 |
| 0,3 | 34,23 ± 0,68 | 20,57 ± 0,82 |
| контроль (0) | 16,77 ± 0,05 | 11,70 ± 0,20 |

З метою встановлення екологічного стану довкілля розроблені критерії його оцінки з використанням показників рівня каталазної активності (КА) і перекісного окиснення ліпідів міцелію плодових тіл *Flammulina velutipes* [4, 27], які представлені в табл. 10.

Таблиця 10

Оцінка екологічного стану довкілля з використанням міцелію плодових тіл *Flammulina velutipes*

| Критерії оцінки | | Бал | Екологічний стан |
|-----------------|------------------|-----|----------------------|
| КА, мкат/г | ПОЛ, нмоль МДА/г | | |
| до 80 | до 15 | 1 | відносно сприятливий |
| 81-130 | 16-20 | 2 | нормальний |
| 131-180 | | 3 | субнормальний |
| 181-230 | 21-35 | 4 | несприятливий |
| вище 230 | вище 35 | 5 | вкрай несприятливий |

Діапазон зміни каталазної активності в 6,6 рази перевищує спектр інтенсивності процесів ПОЛ міцелію плодових тіл досліджуваного базидіоміцету, що дозволяє більш детально провести мікоіндикацію навколишнього середовища.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогамі чутливості бріофлори.

Аналіз ценотичної структури досліджених мохоподібних насамперед передбачає розподіл усіх видів досліджених мохів на групи, головним критерієм розподілу яких є ценотична приуроченість та ступінь активності видів на дослідженій території. Активність виду пов'язана з успішністю його зростання в певних ландшафтно-кліматичних умовах, що свідчить про те, що дані умови відповідають еколого-біологічним властивостям цього виду. Величина активності виду визначається за широтою його екологічної амплітуди, ступенем постійності та проективного покриття [28].

Для встановлення ценотичної структури досліджених мохоподібних південного сходу України нами була вивчена ценотична приуроченість та ступінь активності видів на даній території. Нами враховувалось зустрічання виду не тільки в різноманітних типах ценозів і в екотопах, а і чисельність популяції виду та роль мохових угруповань у всіх місцезростаннях.

Для визначення активності видів використовували розроблену нами бальну оцінку фітоценотичних показників (табл. 11), відповідно до якої кожний вид моху має свою суму балів у залежності від ступеня приуроченості виду до того чи іншого фактору навколишнього середовища. Саме вона була основним критерієм, за яким було визначено активність видів.

Бальна оцінка фітоценотичних показників

| Фактори навколишнього середовища | Бали | | | | |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Вологість | Гігрофіт | Мезогігрофіт | Мезофіт | Мезоксерофіт | Ксерофіт |
| Трофність | Оліготроф | Олігомезотроф | Мезотроф | Мезоевтроф | Евтроф |
| Освітленість | Геліофіт | – | Геліосциофіт | – | Сциофіт |
| Хімізм субстрату | Нітрофіл Галофіт | Еврифіл Сіліціофіл | Кальцефоб Ацидофіл | Кальцефіл | Інцертофіл |

Примітка. 1 бал – вид вимогливий до умов існування; 2-4 бали – вид, який нормально розвивається при дефіциті або надлишку деяких факторів; 5 балів – вид невимогливий до умов існування.

У результаті проведеного дослідження на південному сході України було виявлено п'ять груп ценотичної активності видів мохоподібних [29] (табл. 12).

Таблиця 12

Ценотична активність досліджених мохоподібних південного сходу України

| Групи активності видів | Кількість видів | % |
|------------------------|-----------------|-------|
| Надтоактивні види | 4 | 10,53 |
| Високоактивні види | 9 | 23,68 |
| Середньоактивні види | 6 | 15,79 |
| Малоактивні види | 4 | 10,53 |
| Неактивні види | 15 | 39,47 |

1. **Надтоактивні види** – 5 балів. До цієї групи віднесено чотири види мохоподібних, що складає 10,53% від загальної кількості досліджених мохоподібних. Це космополітні види – *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *B. caespiticium* та аридний біполярний вид *Tortula ruralis*. Серед них переважають мезоксерофітні (75%), дводомні (100%), геліофітні (100%) види з життєвою формою низьких дернинок (*Bryum argenteum*, *B. caespiticium*, *Tortula ruralis*) та подушкоподібних дернинок (*Ceratodon purpureus*). Більшість з надтоактивних видів мохоподібних (75%) мезотрофи, тобто рослини з помірними вимогами щодо вмісту поживних речовин у субстраті, зокрема зольних речовин [30].

2. **Високоактивні види** – 4 бали. До цієї групи нами було віднесено дев'ять видів мохоподібних (23,68%). Серед цих видів переважають інцертофільні мохи (77,78%), які не мають чітких проявів залежності від хімізму субстрату. За відношенням до умов трофності та зволоження субстрату переважають мезотрофи та мезоксерофіти, які складають 55,56% кожний. Стосовно освітленості місцезростань найбільша частина припадає на геліофіти (44,44%), що пов'язано із зростанням більшої кількості мохів цієї групи на відкритих ділянках. Види *Leskea polycarpa* та *Amblystegium serpens* – сциофіти, які найбільш активні в умовах затінення: темних лісах, на затінених скелях, у щілинах. Вони можуть існувати і на більш освітлених місцезростаннях, але в умовах південного сходу України проявляють себе лише як сциофіти. У багатьох видів відмічено життєву форму – плаский килим (66,67%). Серед високоактивних видів переважають дводомні види (55,56%), але у мохових зростаннях домінують саме одnodомні – *Barbula unguiculata* та *Brachythecium campstre*.

3. **Середньоактивні види** – 3 бали. До них відноситься шість видів мохоподібних (15,79%). Окрім політріхових, до цієї групи належать *Funaria hygrometrica*, *Mnium marginatum* та печіночник *Marchantia polymorpha*. Серед видів цієї групи переважають мезоксерофіти (66,67%). На відміну від попередніх груп ценотичної активності видів, тут вперше з'являється представник печіночників – *Marchantia polymorpha*, який ми, враховуючи

його залежність від зволоження місцезростання, віднесли до мезогідрофітів. Стосовно трофності субстрату та освітленості місцезростань переважають мезотрофи та геліосціофіти, які складають по 66,67%. У порівнянні з попередніми групами серед середньоактивних видів мохоподібних збільшилась участь інших екологічних груп за відношенням до хімічного складу субстрату – в однакових кількостях (33,33%) мохи представлені ацидофілами, еврифілами та нітрофілами, дводомні та одnodомні види також виявлені у рівних пропорціях. Значна кількість мохів (83,33%) представлена видами з життєвою формою рихла дерновина, таломно-килимову синузію утворює печіночник *Marchantia polymorpha*.

4. **Малоактивні види** – 2 бали. Ця група представлена чотирма видами мохоподібних (10,53%), життєва форма яких – подушкоподібна дернинка. Більшість з них (75%) – одnodомні мохи, лише *Atrichum undulatum* – багатодомний вид. У рівних кількостях наявні геліосціофіти та геліофіти. Відносно трофності та хімізму субстрату переважають мезотрофи та інцертофіли (по 50%), по одному виду представлені оліготрофи та олігомезотрофи, ацидофіли та кальцефіли.

5. **Неактивні види** – 1 бал. Складають найбільшу частину серед досліджених мохоподібних – 15 видів (39,47%), більшість з яких бореальні види (66,67%). За відношенням до рівня зволоженості місцезростань переважають мезоксерофітні (46,67%) та мезофітні види (40,00%). Також був визначений один ксерофіт *Grimmia pulvinata* та нехарактерний для південного сходу України мезогідрофітний вид *Aulacomnium palustre*. Відносно трофності та хімізму субстрату мезотрофи та інцертофіли представлені у рівних кількостях (по 33,33%), оліготрофи та мезоевтрофи мають по 20,00% кожний, а переважають серед досліджених мохоподібних ацидофіли – 53,33%. Вважаємо, що це пов'язано з тим, що більша частина мохоподібних цієї групи зростає в соснових лісах, де, як відомо, субстрат має кислу реакцію. Цей факт також пояснює і переважання геліосціофітів, які зростають у напівтіні. Життєві форми неактивних видів мохоподібних представлені: 1) рихлою дернинкою, для якої характерні переважно нерозгалужені стебельця, вертикальні та часто покриті ризоїдною повстю. Деревоподібну життєву форму утворює *Climacium dendroides*; 2) плетивом – системою рихлих сплетінь, різноманітно і рясно розгалужених стебел, вертикальних, лежачих чи висхідних, із небагатьма ризоїдами або зовсім без них (*Abietinella abietina*, *Hylocomium splendens*, *Pleurosium schreberi*, *Rhytidiadelphus triquetrus*) [29, 31].

Таким чином, при дослідженні ценотичної структури мохоподібних, знайдених нами на території південного сходу України, виявлено переважання неактивних видів (23,68%). Надтоактивні та малоактивні види знаходяться в рівних кількостях (по 10,53%), середньоактивні складають 15,79%. За даними М. Ф. Бойка [28], для бріофлори степової зони характерне переважання неактивних та малоактивних видів, але даних щодо вивчення ценотичної структури мохоподібних не так багато. За нашими даними, також переважають неактивні види, але малоактивні поступилися своїм місцем високоактивним, більшість з яких добре пристосувалися до умов існування в урбанізованому середовищі.

Слід зауважити, що саме надтоактивні види мохів відрізняються великою широтою екологічної амплітуди – зростають у різноманітних екотопах, у багатьох ценозах, усі вони є домінантами мохових угруповань у тих, чи інших ценозах та складають основну частку мохового покриву, визначають його характер, особливості [28]. Не дивлячись на малу кількість (4 види), вони колонізують територію південного сходу України та зустрічаються майже в усіх районах. Цьому сприяє те, що представники цієї групи мають мінімальні потреби для існування: більшість оселяється на мезотрофних субстратах, менш вимогливі до умов зволоження – три з них мезоксерофіти, а один – ксерофіт. У зв'язку з цим саме серед представників мохів цієї групи нами було обрано види *Bryum argenteum* Hedw. та *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. для дослідження впливу забруднення навколишнього середовища на морфометричні показники листової пластинки та визначення порогів чутливості мохів-індикаторів (табл. 13).

Оцінка екологічного стану середовища за критеріями чутливості мохів-індикаторів

| Екологічний стан середовища (бали) | Критерії оцінки | |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Ширина листкової пластинки, мм | Довжина листкової пластинки, мм |
| відносно сприятливий (1 бал) | 0,35-0,34 | 0,51-0,52 |
| нормальний (2 бали) | 0,33-0,32 | 0,50-0,49 |
| субнормальний (3 бали) | 0,31-0,29 | 0,48-0,46 |
| несприятливий (4 бали) | 0,28-0,27 | 0,45-0,41 |
| вкрай несприятливий (5 балів) | < 0,27 | < 0,41 |

Отримані дані дали змогу розробити шкалу оцінки якості навколишнього середовища за діагностичними критеріями на підставі визначення порогів чутливості мохів-біоіндикаторів *Bryum argenteum* Hedw. та *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. до дії несприятливих факторів середовища.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогамі чутливості рослин-індикаторів.

Експериментальним шляхом було доведено, що порогом чутливості рослин до дії несприятливих доз хімічних речовин вважається значення сумарного коефіцієнту співвідношення – 1,00.

У табл. 14 наведено абсолютні розміри кореневої системи та надземної частини виду *E. repens* та співвідношення цих показників у різних умовах зростання

Таблиця 14

Морфометричні характеристики кореневої системи та надземної частини виду *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski

| Пробні площі зростання | Надземна частина, см | Підземна частина, см | Співвідношення надземної та підземної частин |
|--|----------------------|----------------------|--|
| Донецький металургійний завод | 25,06±0,75 | 12,31±0,12 | 2,04 |
| Металургійний комбінат «Азовсталь» | 23,29±0,37 | 11,46±0,14 | 2,03 |
| ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» | 23,78±0,94 | 12,79±0,19 | 1,86 |
| Єнакіївський металургійний завод | 20,30±0,65 | 14,01±0,17 | 1,45 |
| Макіївський металургійний комбінат | 25,09±0,68 | 13,34±0,13 | 1,88 |
| Краматорський металургійний завод | 27,84±1,04 | 17,68±0,45 | 1,57 |
| Костянтинівський металургійний завод | 27,98±1,07 | 18,94±0,77 | 1,48 |
| с. Серебрянка | 36,88±1,07 | 42,30±0,81 | 0,87 |
| с. Дронівка | 38,41±1,12 | 44,89±0,98 | 0,86 |

У табл. 15 наведено абсолютні розміри кореневої системи та надземної частини виду *T. pratense* та відповідні співвідношення в різних умовах зростання.

Сумарний коефіцієнт співвідношення надземної та підземної частин *E. repens* та *T. pratense* у разі пригнічення життєдіяльності дорівнює середньому значенню, отриманому за двома рослинами для пробних площ: Донецький металургійний завод (1,63), Металургійний комбінат «Азовсталь» (1,56), ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» (1,51), Єнакіївський металургійний завод (1,26), Макіївський металургійний комбінат ім. С. М. Кірова (1,54), Краматорський металургійний завод ім. В. В. Куйбишева (1,38), Костянтинівський металургійний завод (1,38) та в контрольних фонових умовах, де

вплив токсичних факторів на середовище існування рослин мінімальний: с. Серебрянка (0,88) та с. Дронівка (0,86) Артемівського району Донецької області.

Таким чином, коефіцієнти співвідношення для різних видів можуть відрізнятися. Проте комплексний коефіцієнт за злаково-бобовою травосумішшю дає більш інтегровану оцінку реакції рослини на дію факторів, що в сукупності зумовлюють стресове становище.

Запропонований спосіб дозволяє мати інтегровану оцінку дії факторів стресу та ранжувати за коефіцієнтами більш токсикогенні впливи.

Таблиця 15

Морфометричні характеристики кореневої системи та надземної частини виду *Trifolium pratense* L.

| Пробні площі зростання | Надземна частина, см | Підземна частина, см | Співвідношення надземної та підземної частин |
|--|----------------------|----------------------|--|
| Донецький металургійний завод | 12,45±0,23 | 10,31±0,10 | 1,21 |
| Металургійний комбінат «Азовсталь» | 11,63±0,24 | 10,75±0,15 | 1,08 |
| ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» | 12,42±0,20 | 10,79±0,11 | 1,15 |
| Єнакіївський металургійний завод | 10,10±0,19 | 9,56±0,10 | 1,06 |
| Макіївський металургійний комбінат | 10,96±0,19 | 9,14±0,09 | 1,20 |
| Краматорський металургійний завод | 10,73±0,12 | 9,10±0,08 | 1,18 |
| Костянтинівський металургійний завод | 16,66±0,22 | 12,99±0,10 | 1,28 |
| с. Серебрянка | 23,43±1,04 | 26,30±0,09 | 0,89 |
| с. Дронівка | 28,91±1,07 | 33,78±0,08 | 0,86 |

За допомогою такого розрахунку можна встановлювати пороги витривалості та чутливості рослин до дії несприятливих факторів середовища. Якщо сумарний коефіцієнт співвідношення надземної та підземної частин *E. repens* та *T. pratense* більше 1,00, то сукупність факторів розвитку рослин вважається несприятливою.

Запровадження такого підходу дозволить більш точно проводити інтегральну діагностику та експрес-оцінку якості середовища за допомогою рослин природної флори на техногенно змінених територіях.

Експериментально встановлені значення пагоноутворення дерновинних злаків відображають реакцію рослин на дію стресових факторів в різних умовах зростання. Для спрощення сприйняття результатів та інтегрованості стресових факторів результати представляємо за групами підприємств-забруднювачів.

Розроблена шкала для оцінки комбінованого впливу стресових факторів для злаків індикаторів (табл. 16).

Таблиця 16

Шкала оцінки екологічного стану середовища за критеріями чутливості злаків-індикаторів

| Бал | Екологічний стан | Критерії оцінки | |
|-----|--------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| | | Кількість пагонів | Діаметр проективного покриття, см |
| 1 | відносно сприятливий (1) | більше 12,0 | більше 7,0 |
| 2 | нормальний (2) | 10,0-11,9 | 6,0-6,9 |
| 3 | субнормальний (3) | 7,0-9,9 | 5,0-5,9 |
| 4 | несприятливий (4) | 4,0-6,9 | 4,0-4,9 |
| 5 | вкрай несприятливий (5) | менше 3,9 | менше 3,9 |

Таким чином, комбінований вплив забруднюючих об'єктів промисловості на рослини встановлено наступним чином: для підприємств металургійної промисловості відповідає недопустимим умовам (5 балів), хімічної – перевищеним за токсичне навантаження (3 бали за кількістю пагонів) та недопустимим умовам (5 балів за діаметром проективного покриття), а коксохімічної промисловості – (недопустимі (3 бали) та перевищені (5 балів) за відповідними показниками.

Позитивний ефект проявляється в тому, що запропонований спосіб фітокваліметрії дозволяє мати інтегровану оцінку комбінованого ефекту промислового забруднення в польових умовах при використанні рослин-індикаторів. За допомогою такого розрахунку можна визначати ступінь токсичного впливу на даній території та специфіку забруднення відповідно до окремих підприємств-забруднювачів.

Використання способу дозволить більш детально здійснювати програми токсикологічного моніторингу та експертизи на об'єктах промислового забруднення, проводити оцінку та корекцію екологічного стану в промислових районах [32, 33].

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогамі чутливості угруповань панцирних кліщів.

У результаті проведеного аналізу складу та екологічної структури угруповань панцирних кліщів досліджених техногенних ландшафтів запропоновано схему оцінки якості навколишнього середовища за порогамі чутливості біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища (табл. 17).

За даною схемою на підставі розроблених порогів чутливості угруповань панцирних кліщів [1] проаналізовано екологічну структуру угруповань панцирних кліщів і проведено оцінку якості навколишнього середовища на прикладі техногенних катен гірничо-видобувного комплексу Донбасу та проведено порівняння отриманих даних зі структурою угруповань орібатид природних катен.

Таблиця 17

Індикаційна шкала оцінки якості навколишнього середовища за порогамі чутливості угруповань панцирних кліщів

| Величина інтегрального показника порогів чутливості угруповань панцирних кліщів (бали) | Екологічний стан середовища |
|--|-----------------------------|
| 1 (21-25) | відносно сприятливий |
| 2 (16-20) | нормальний |
| 3 (11-15) | субнормальний |
| 4 (6-10) | несприятливий |
| 5 (0-5) | вкрай несприятливий |

У результаті проведених досліджень складу та структури угруповань панцирних кліщів техногенних катен встановлено, що характер рельєфу та рослинності має значний вплив на розподіл угруповань та екологічну структуру населення орібатид.

Встановлено, що за інтегральним показником порогів чутливості угруповань панцирних кліщів екологічний стан досліджених техногенних ділянок гірничо-видобувного комплексу Донбасу загалом є субнормальним (3 бали). Це стосується показників як навесні, так й літом і восени (рис. 1).

Несприятливий та вкрай несприятливий екологічний стан середовища (4 та 5 балів відповідно) відзначено на всіх позиціях катени шахт ім. М. Горького (навесні) та № 29 (літом), а також на елювіальних позиціях териконів шахт «Трудівська» (протягом року) і шахти № 12 м. Шахтарська (восени). Останнє значною мірою пов'язано з тим, що вершина цих териконів «гола», дерева та інша рослинність практично відсутні.

На відвалах Новотроїцького доломітного комбінату літом та восени екологічний стан середовища за інтегральним показником можна охарактеризувати як нормальний (2 бали).

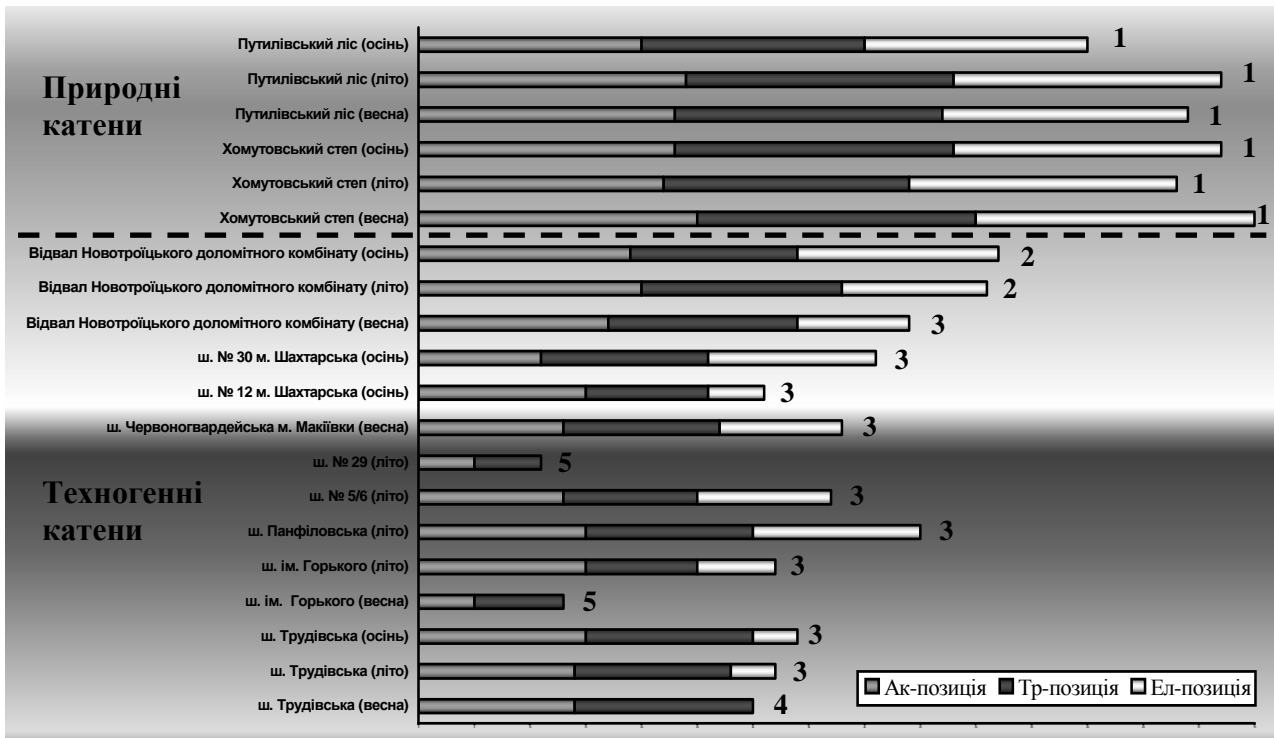


Рис. 1. Оцінка якості середовища за порогоми чутливості угруповань панцирних кліщів (бали) техногенних та природних катен.

Показники порогів чутливості угруповань панцирних кліщів контрольних ділянок як байрачної («Путилівський ліс»), так і степової природних катен («Хомутовський степ») протягом усього року відповідають відносно сприятливому екологічному стану середовища (1 бал).

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогоми чутливості гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда.

Використання шовковичного шовкопряда як тест-об'єкта для біоіндикації екологічного стану середовища потребує врахування впливу факторів довкілля на межі чутливості даного виду. Наші дослідження показали існування прямої залежності меж чутливості гусениць шовковичного шовкопряда і температурного фактора. Це пов'язано з пойкилотермією шовковичного шовкопряда, всі фізіологічні процеси якого залежать від температури довкілля (інтенсивність метаболізму, швидкість розвитку, чутливість до стресорів та ін.).

У результаті попередніх досліджень було встановлено, що при визначенні меж чутливості комах до токсикантів (інсектицидів) та інших стресорів, а також при розробці діагностичних критеріїв екологічного стану обов'язковим є дотримання стабільних температурних умов тестування.

Проведені дослідження дали змогу розробити шкалу оцінки якості навколишнього середовища за діагностичними критеріями на підставі визначення порогів чутливості біоіндикатора (шовковичного шовкопряда) до дії несприятливих факторів середовища (на прикладі фосфорорганічних інсектицидів). Побудувавши графік залежності смертності гусениць шовковичного шовкопряда від концентрації токсиканту, ми отримали математичне вираження цієї залежності (рис. 2), що дало змогу визначити концентрації забруднювача, які відповідали певним діагностичним критеріям (табл. 18).

Таким чином, у результаті досліджень та математичної обробки отриманих даних розроблена шкала оцінки екологічного стану середовища (на прикладі забруднення фосфорорганічними інсектицидами) за порогоми чутливості шовковичного шовкопряда до дії стресорів антропогенного походження, яка дозволяє встановити ступінь забруднення

навколишнього середовища. При зміні температурних умов середовища межі чутливості біоіндикатору до стресору можуть змінюватись, але діагностичні ознаки залишаються стабільними і чітко відображають залежність від концентрації токсиканту.

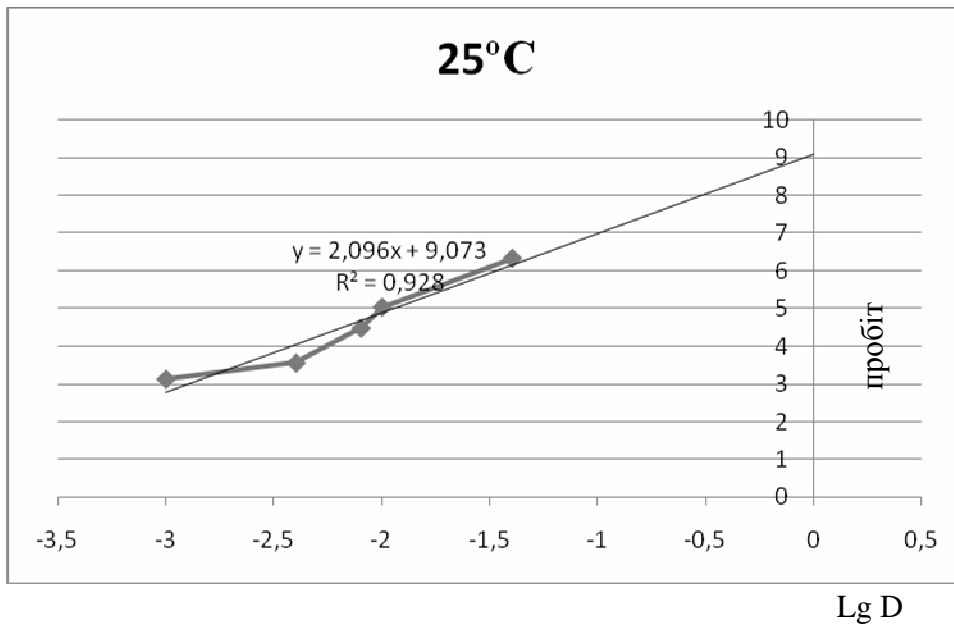


Рис. 2. Залежність смертності гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда від концентрації токсиканту (пробіт-аналіз).

Таблиця 18

Шкала оцінки якості навколишнього середовища за діагностичними критеріями тест-об'єкту (шовковичного шовкопряда)

| Концентрація забруднювача, мг/л | Екологічний стан середовища (бали) | Критерії оцінки |
|---------------------------------|------------------------------------|---|
| 0 – 0,01 | відносно сприятливий (1 бал) | Зміна поведінки біоіндикатора та загибель особин не спостерігаються. |
| 0,07 | нормальний (2 бали) | Підвищена рухливість 15% особин біоіндикатора, параліч та загибель не менш 10% особин протягом 18-24 годин. |
| 0,14 | субнормальний (3 бали) | Підвищена рухливість не менш ніж 50% особин, параліч та загибель 40% протягом 8-17 годин. |
| 0,20 | несприятливий (4 бали) | Збудження 90-95% особин біоіндикатора, тремор, блювальний акт, параліч та загибель 75% протягом 4-6 годин. |
| 0,26 | вкрай несприятливий (5 балів) | Тремор, параліч та загибель більш ніж 90% особин біоіндикатора протягом 2 годин. |

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогамі психофізіологічної чутливості людини.

За результатами проведених досліджень виявлено діагностичні критерії змін порогових значень швидкості переробки інформації людини, що відбивається в зміні її психофізіологічного стану в середньому на 5-7% упродовж десятирічного терміну перебування її в умовах екологічної шкідливості (табл. 19).

Тобто за 10 років проживання людини в екологічно несприятливих умовах показник швидкості переробки інформації зменшився на 50% (див. табл. 19). Проте вірогідні ($p < 0,05$) зміни цього показника реєструвалися вже за 2 роки мешкання від ($88,4 \pm 0,7$) до ($52,1 \pm 0,2$) ум. од., $p < 0,05$.

Таблиця 19

Швидкість переробки інформації у людей, що мешкають на несприятливих за екологічним станом територіях

| Психофізіологічний показник, ум. од. | Час мешкання на техногенно трансформованих територіях, роки | | | | |
|--------------------------------------|---|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Швидкість переробки інформації | $81,7 \pm 0,03^*$ | $52,2 \pm 0,12^*$ | $47,1 \pm 0,10$ | $41,3 \pm 0,5$ | $35,6 \pm 0,4$ |

Примітка. * – $p < 0,05$.

Отже, вірогідні ($p < 0,05$) зміни показника швидкості переробки інформації в людини відбуваються через 2 роки проживання на екологічно несприятливих територіях. Частково неперворотні зміни відбуваються в психофізіологічному стані людини: пограничні (непсихотичні) форми психопатологій, порушення уваги, гіперактивність спостерігаються після 6 років проживання в екологічно несприятливих умовах.

Порівняльна оцінка порогових величин психофізіологічного показника зі шкалою екологічної шкідливості, з урахуванням часових інтервалів показала, що порогова величина в 2 бали при проживанні на даній території 1,5-2 роки свідчить про вірогідну ($p < 0,05$) зміну цього показника на 46%. Така величина вірогідно властива для 56% людей. Тобто за два роки мешкання на несприятливих за екологічним станом територіях у кожній другій людині змінюється показник швидкості переробки інформації майже в два рази.

За результатами досліджень було встановлено, що абсолютним порогом чутливості психофізіологічного стану людини є мінімальні зміни показника швидкості переробки інформації як за величиною, так і за часом.

За величиною цього показника розроблено шкалу оцінки якості середовища (рис. 3).

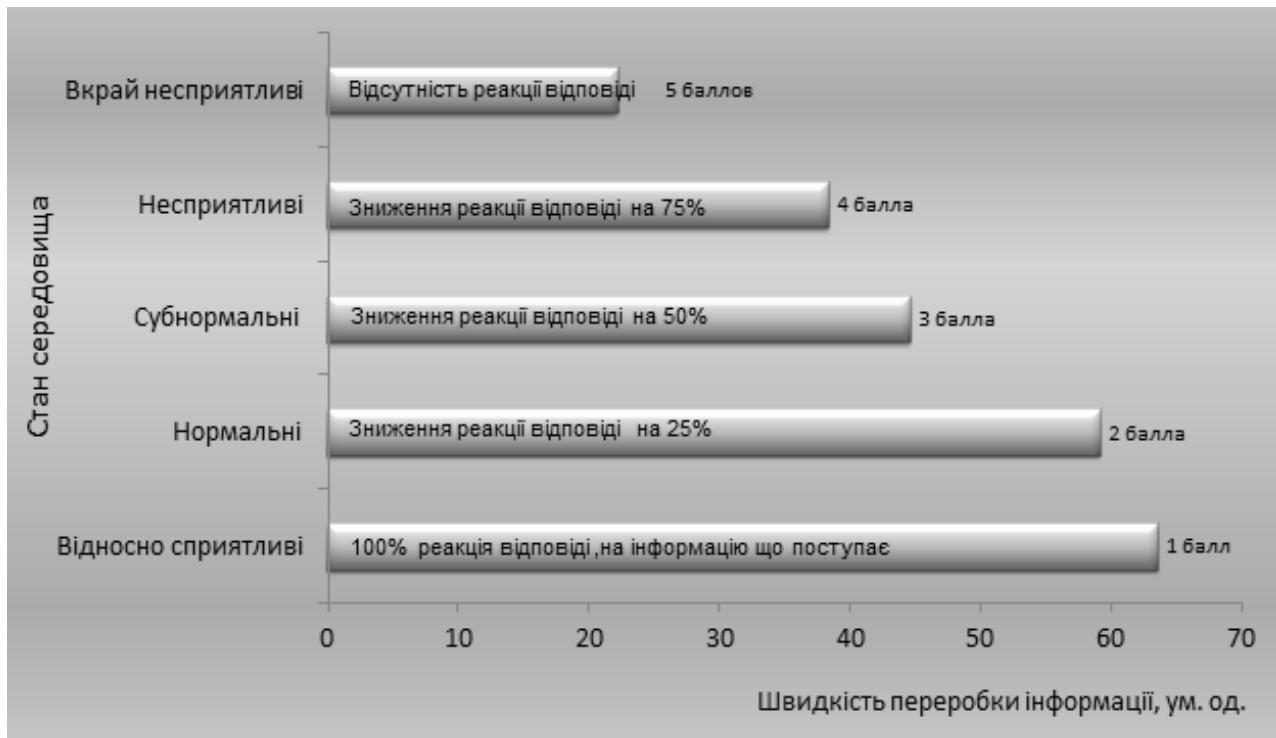


Рис. 3. Шкала оцінки стану середовища за інтегральним психофізіологічним показником.

Висновки

1. Вперше визначено характеристики порогової чутливості біоіндикаторів (водоростей, грибів, мохоподібних, квіткових рослин, кліщів, комах та людини) на дію екологічно несприятливих факторів середовища та розроблено критерії оцінки екологічного стану довкілля за порогам чутливості. Підготовлено матеріали для формування бази даних порогів чутливості відповідних біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів довкілля.

2. Досліджено і створено бази даних порогів чутливості водоростей водойм південного сходу України для таких факторів: температури, мінералізації, рН води. Розроблено критерії оцінки екологічних чинників у водоймах за параметрами водоростей (морфологічні, фізіологічні, систематичні та різноманіття видів). Апробовано комплексну оцінку за розробленими критеріями на штучних водоймах та річках Донецької області.

3. Встановлена порогова чутливість міцеліальної культури штаму F-610 їстівного лікарського гриба *F. velutipes* на дію полютантів (фенол і бензопірен) за показниками інтенсивності процесів перекисного окиснення ліпідів. Розроблено критерії оцінки екологічного стану навколишнього середовища за величиною зміни перекисного окиснення ліпідів та каталазної активності плодових тіл базидіоміцета *F. velutipes*.

4. Вперше на екологічно забруднених територіях південного сходу України за морфологічною мінливістю мохоподібних *Bryum argenteum* Hedw. та *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. встановлено порогову чутливість біоіндикаторів, на підставі якої розроблено критерії оцінки екологічного стану середовища.

5. Зміна фітоіндикаційних показників за кількістю пагонів, діаметром проективного покриття та коефіцієнт співвідношення надземної та підземної частин *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski та *Trifolium pratense* L. є критеріями для оцінки різних за техногенним навантаженням екоотопів.

6. Критерієм оцінки екологічного стану довкілля є величина інтегрального показника порогів чутливості угруповань панцирних кліщів (середня щільність населення, видове багатство, структура домінування, співвідношення життєвих форм, індекс екологічного різноманіття Шеннона). У техногенних катенах вона значно більша, ніж у природних.

7. Експериментально визначено порогови чутливості гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда до дії фосфорорганічних інсектицидів та синтетичних перетроїдів. Розроблена шкала критеріїв оцінки екологічного стану середовища, яка дозволяє встановити ступінь забруднення навколишнього середовища за показниками смертності, поведінки та ознаків патології гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда.

8. Абсолютним порогом чутливості психофізіологічного стану людини на дію екологічно несприятливих факторів середовища є показник швидкості переробки інформації, який визначається за результатами реєстрації концентрації уваги, моторної реакції, прийняття рішень. Встановлена вірогідна часова межа проживання людини (більше 1,5 років), яка відбиває зміни психофізіологічного стану людини. Зниження показника швидкості переробки інформації спостерігається у 56% людей, що проживають на екологічно несприятливих територіях. Критерієм оцінки екологічного стану середовища є зміни величин показника швидкості переробки інформації.

Список літератури

1. Беспалова С. В. Визначення порогів чутливості біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища / С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2010. – № 1 (10). – С. 9–25.
2. Вассер С. П. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. – К.: Наук. думка, 1989. – 608 с.
3. Барінова С. С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С. С. Барінова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.
4. Спосіб мікотестування забруднення навколишнього середовища фенолом /

Федотов О. В., Перцевой М.С. Патент 57945 Україна МПК (2011.01), A01G7/00, A01H15/00, Донецький національний університет, № u201009019, заявл. 19.07.2010, опубл. 25.03.2011 // Бюл. № 6.

5. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – орибатидаы / Е. М. Буланова-Захваткина. – М.: Высш. шк., 1967. – 254 с.

6. Engelmann H.-D. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenartropoden / H.-D. Engelmann // Pedobiologia. – 1978. – Bd. 18, Hf. 5/6. – S. 378–380.

7. Криволицкий Д. А. Морфо-экологические типы панцирных клещей (Acariiformes, Oribatei) / Д. А. Криволицкий // Зоол. журн. – 1965. – Т. 44, вып. 8. – С. 1176–1189.

8. Панцирные клещи: морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* C. L. Koch, 1839 / [Д. А. Криволицкий, Ф. Лебрен, М. Кунст и др.] / Под ред. Д. А. Криволицкого. – М.: Наука, 1995. – 224 с.

9. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение: пер. с англ. / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992. – 184 с.

10. Без'язична О. З. Шовковичний шовкопряд як біоіндикатор для визначення залишків інсектицидів у субстратах / О. З. Без'язична, О. З. Злотін, В. О. Головка. – Харків: РВИ «Оригінал», 1997. – 88 с.

11. Злотін О. З. Новий тест-об'єкт для біологічної оцінки залишкових кількостей інсектицидів / О. З. Злотін, О. В. Без'язична // Доп. АН України. – 1994. – № 3. – С. 175–177.

12. Патент України на корисну модель № 60667. Спосіб визначення граничних меж чутливості біоіндикатора до дії стресорів / Злотін О. З., Беспалова С. В., Горецький О. С., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М.; Заявл. 02.12.10, Опубл. 25.06.11. – Бюл. № 12.

13. Гар К. А. Методы испытаний токсичности и эффективности инсектицидов / К. А. Гар. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 217 с.

14. Химическая защита растений / Г. С. Груздев, В. А. Зинченко, В. А. Калинин, Р. И. Слобцов. – М.: Колос, 1980. – 448 с.

15. Макаренко Н. В. Основы профессионального психофизиологического отбора / Н. В. Макаренко, Б. А. Пухов, Н. В. Кольченко. – К.: Наук. думка, 1987. – 244 с.

16. Малхазов О. Р. Психология та психофізіологія управління руховою діяльністю / О. Р. Малхазов. – К.: Євролінія, 2002. – 320 с.

17. Панов В. И. Введение в экологическую психологию: учеб. пособие / В. И. Панов. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 144 с.

18. Лялюк Н. М. Видове різноманіття водоростей планктону ставків м. Донецьк / Н. М. Лялюк, М. Ю. Омеляненко // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2010. – № 1 (10). – С. 74–78.

19. Лялюк Н. М. Діатомові водорості штучних водойм Донецької області / Н. М. Лялюк // Матер. XIII з'їзду Укр. ботан. тов-ва (Львів, 19-23 вересня 2011 р.). – Львів, 2011. – С. 302.

20. Лялюк Н. М. Особливості альгоіндикації в умовах Донбасу / Н. М. Лялюк // Збалансований (сталій) розвиток України – пріоритет національної політики: матер. Всеукр. наук. екол. конф. (Київ, 26 жовтня 2010 р.). – К.: Центр екол. освіти та інф., 2010. – С. 206–208.

21. Лялюк Н. М. Перспективы использования водоростей для автоматизированной системы контроля качества среды / Н. М. Лялюк // Матер. наук. конф. проф.-викл. складу, наук. співробітників і аспірантів Донецького нац. ун-ту за підсумками наук.-досл. роботи за період 2009-2010 рр. – Донецьк, 2010. – Т. 1. – С. 255.

22. Лялюк Н. М. Угрупування водоростей деяких ставків Донецької області / Н. М. Лялюк // Ботаніка та мікологія: проблеми та перспективи на 2011-2020 роки: матер. Всеукр. наук. конф. (Київ, 6-8 квітня 2011 р.) / Під ред. І. О. Дудки, С. Я. Кондратюка. – К.: Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного, 2011. – С. 196–197.

23. Омеляненко М. Ю. Особливості складу та кількісного розвитку фітопланктону малих річок Північного Приазов'я / М. Ю. Омеляненко, Н. М. Лялюк // Наук. зап.

Тернопільського нац. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Біол., спецвип. Гідроекологія. – 2010. – № 2 (43). – С. 380–383.

24. Гродзинська Г. А. Макроміцети – біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України / Г. А. Гродзинська, С. О. Сирчин, М. Д. Кучма, В. В. Коніщук // Вісник НАН України. – 2008. – № 9. – С. 26–37.

25. Дудка І. О. Мікологічний моніторинг як засіб оцінки і прогнозування фітосанітарного стану лісових екосистем / І. О. Дудка, Т. О. Мережко, В. П. Гайова // Укр. ботан. журн. – 1994. – Т. 51, № 6. – С. 53–59.

26. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов / О. Е. Марфенина. – М.: Медицина для всех, 2005. – 196 с.

27. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання за вмістом продуктів перекисного окиснення ліпідів / Федотов О. В. Патент 12384 Україна МПК А01G 7/00, С30В 28/00, С04В 35/00, А01Н 3/00, Донецький національний університет, № u200504732; заявл. 20.05.2005; опубл. 15.02.2006. // Бюл. № 2.

28. Бойко М. Ф. Анализ бриофлоры степной зоны Европы / М. Ф. Бойко. – К.: Фитосоцицентр, 1999. – 180 с.

29. Глухов О. З. Бріоіндикація техногенного забруднення навколишнього середовища південного сходу України / О. З. Глухов, О. В. Машталер. – Донецьк: Вебер, 2007. – 156 с.

30. Бойко М. Ф. Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища / М. Ф. Бойко // Чорноморський ботан. журн. – 2010. – Т. 6, № 1. – С. 35–40.

31. Бойко М. Ф. Про синузії мохоподібних / М. Ф. Бойко // Укр. ботан. журн. – 1978. – Т. 35, № 1. – С. 87–92.

32. Спосіб визначення комбінованого ефекту промислового забруднення на рослини / Беспалова С. В., Глухов О. З., Горецький О. С., Сафонов А. І. Патент 61105 UA, МПК А01G7/00. – Патент на корисну модель № u 201014613; Заявл. 06.12.10, Опубл. 11.07.11. – Бюл. № 13.

33. Спосіб визначення порога чутливості рослин до стресових умов / Беспалова С. В., Глухов О. З., Горецький О. С., Сафонов А. І. Патент 61950 UA, МПК А01G7/00. – Патент на корисну модель № u 201014543; Заявл. 06.12.10, Опубл. 10.08.11. – Бюл. № 15.

Беспалова С. В., Горецкий О. С., Глухов А. З., Злотин А. З., Максимович В. А., Говта Н. В., Лялюк Н. М., Маркина Т. Ю., Маслодудова Е. Н., Машталер А. В., Сафонов А. И., Федотов О. В., Штирц А. Д. Критерии оценки экологического состояния среды по порогам чувствительности биоиндикаторов. – Впервые определены характеристики пороговой чувствительности биоиндикаторов (водорослей, грибов, мохообразных, цветковых растений, клещей, насекомых и человека) на действие экологически неблагоприятных факторов среды, по которым разработаны критерии оценки экологического состояния окружающей среды. Подготовлены материалы для формирования базы данных порогов чувствительности соответствующих биоиндикаторов на действие экологически неблагоприятных факторов среды.

Ключевые слова: критерии оценки, пороги чувствительности, биоиндикация, экологическое состояние среды.

Bespalova S. V., Goretsky O. S., Glukhov A. Z., Zlotin A. Z., Maksimovich V. A., Govta N. V., Ljaljuk N. M., Markina T. Yu., Maslodudova E. N., Mashtaler A. V., Safonov A. I., Fedotov O. V., Shtirts A. D. The criteria of assessment of ecological state of environment on thresholds of sensitivity of bioindicators. – Characteristics of thresholds of sensitivity of bioindicators (algae, fungi, bryophytes, flowering plants, oribatid mites, insects and man) to ecologically unfavourable environmental factors have been identified for the first time. Criteria of assessment of ecological state of the environment have been elaborated. Materials for database on thresholds of sensitivity of corresponding bioindicators detecting ecologically unfavourable environmental factors have been prepared.

Key words: criteria of assessment, thresholds of sensitivity, bioindication, ecological state of the environment.