



УДК 502.175

МОНІТОРИНГ ЕКОСИСТЕМ: ЦІЛІ ТА НЕОБХІДНІСТЬ, РОЛЬ БІОІНДИКАЦІЇ

В. М. ВОЙЦІЦЬКИЙ¹, доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник

<http://orcid.org/0000-0002-5641-0071>

С. В. МІДИК¹, кандидат ветеринарних наук, старший науковий співробітник ORCID

<http://orcid.org/0000-0002-2682-2884>

Т. В. ПОЛТАВЧЕНКО², кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри водних біоресурсів

<http://orcid.org/0000-0001-8531-2924>

О. В. БЕРЕЗОВСЬКИЙ¹, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-0909-1119>

О. Ю. КЕППЛ¹, кандидат ветеринарних наук, науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-8123-3310>

А. О. ВЕЛИНСЬКА¹, молодший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-2281-9677>

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України

²Національний університет водного господарства та природокористування

E-mail: svit.mid@gmail.com

<https://doi.org/10.31548/bio2019.03.005>

Наведено визначення поняття «екотоксиканти» та надані відомості стосовно основних природних і антропогенних їх джерел. Акцентується увага на можливості потрапляння екотоксикантів до екосистем та їх негативного впливу на біоту, у тому числі здоров'я людини.

Визначено цілі та необхідність проведення екотоксикологічного моніторингу довкілля як за нормативних, так і аварійних викидах і скидах екотоксикантів у довкілля з метою отримання об'єктивної інформації про стан екосистем і прогнозування можливих змін, розробки заходів запобігання його погіршення. Наведена схема програми екотоксикологічного моніторингу екосистем.

Зроблено акцент на методах біоіндикації при моніторингу довкілля, доцільність їх проведення. Наголошується, що ці методи, які засновані на реакції живих організмів та їх співтовариств на дію екотоксикантів, здатні адекватно відображати присутність у довкіллі забрудника. Надається інформація про можливість методами біоіндикації визначати комплексні забруднення і діагностувати ранні порушення стану біоти, виявляти вторинні ефекти за дії забрудників, які викликані їх накопиченням і трансформацією різними ланцюгами екосистем. Отримані методами біоіндикації відомості, за відповідної кореляції, можна використати для прогнозування дії екотоксикантів або їх комплексів на здоров'я людини.

Ключові слова: екотоксиканти, екосистеми, біомоніторинг, біоіндикація, тест-об'єкти



Актуальність. Рівні забруднення довкілля екотоксикантами та час їх дії визначають ступінь впливу на екосистеми, в тому числі здоров'я людини. Екотоксиканти – це принесені в екосистему природні або техногенні (у тому числі штучні) полютанти, що здатні спричинити вплив на життєдіяльність організмів, в тому числі їх загибель; уповільнювати, пригнічувати або зовсім припиняти біотичний кругообіг біофільних мінеральних та органічних речовин, а також потік енергії в екосистемах і сприяти їх деградації чи навіть зникненню (Мусієнко та ін., 2002). Основні причини виникнення в тій чи іншій місцевості (екосистемі) підвищеного рівня забруднення екотоксикантами: природні – вивітрення і змиви опадами з гірських порід, дегазація земної кори, її тектонічні рухи, вулканічні та приземлетрусах викиди тощо; антропогенні – викиди й стоки промислових підприємств різних галузей (металургійної, хімічної, електротехнічної та ін.) та добування корисних копалин (шахти, рудники та ін.); продукти неповного згоряння органічного палива (вугілля, нафти, газу, торфу, сланцю та ін.), автомобільного палива; отрухохімікати і добрива в сільському господарстві; продукти перероблення й ті, що утворюються при довготривалому складуванні промислових і побутових відходів; хімічні побутові засоби, стоки лікарень, ветеринарних об'єктів, птахо- і тваринницьких ферм, які містять біокумулятивні лікарські препарати; міські каналізаційні стоки тощо (Кузнецов та ін., 2006).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Виходячи з негативного впливу екотоксикантів на довкілля і здоров'я людини надзвичайно важливим є проведення екотоксикологічного моніторингу, який дає можливість визначити ступінь забруднення ними довкілля (Ісаєнко та ін., 2005). Отримані дані дозволяють оцінити вплив екотоксикантів на біоту еко-

систем і бути основою при розробці заходів попередження або хоча б мінімізації потрапляння екотоксикантів у довкілля (Гудков та ін., 2011).

Нині при оцінці стану довкілля провідна роль належить фізичним і хімічним методам екологічного контролю, які залишаються провідними. Їх суть зводиться до порівняння стану забруднення екотоксикантами довкілля (природних екосистем, агроекосистем, міських тощо) з нормативними концентраціями, які встановлені для біоти. За виявлення забруднених зон аналітичні методи є пріоритетними, але вони унеможливають у широкомасштабних дослідженнях безпосереднє визначення прояву дії екотоксикантів на життєдіяльність організмів, встановлення можливих вторинних ефектів та результатів сумісного впливу кількох екотоксикантів, тобто отримання у достатній мірі таких даних, які необхідні для встановлення нормативних концентрацій екотоксикантів. Цю, а також багато іншої інформації можна отримати за використання методів біоіндикації (Жирнов та ін., 2017).

Мета дослідження. Провести аналіз значущості методів екологічного моніторингу стану довкілля для біоти, в тому числі здоров'я людини. Визначити роль методів біоіндикації під час отримання інформації стосовно дії екотоксикантів на життєдіяльність живих організмів.

Матеріали та методи дослідження. У всіх випадках наукової та практичної діяльності застосовуються методи спостереження, способи пізнання яких засновані на відносно тривалому планомірному і цілеспрямованому сприйнятті явищ і предметів навколишньої дійсності (Жегунов, 2006). Інформація про довготривале спостереження за природним станом довкілля потрібна в повсякденному житті людей для сповіщення про можливу небезпеку. Але зміни у стані довкілля відбуваються й під впливом процесів у

біосфері, які пов'язані з діяльністю людини (антропогенні зміни).

Поряд з фізико-хімічними методами екологічного контролю, як відмічалось, набули поширення методи біоіндикації, які засновані на реакції живих організмів та їх співтовариств на дію екотоксикантів (Жирнов та ін., 2017). Проведено аналіз цих методів з визначенням доцільності і переваги перед фізико-хімічними методами.

Результати аналітичних досліджень та їх обговорення. Моніторинг довкілля (англ. *environmental quality monitoring*) – система регулярних спостережень у часі і просторі для оцінки та контролю стану довкілля з метою розробки заходів щодо його охорони, раціонального використання природних ресурсів та запобігання небезпечним ситуаціям, що можуть зашкодити довкіллю та здоров'ю людини (Кутлахмедов та ін., 2011). Ця система є невіддільною частиною екологічної безпеки, що визначається низкою нормативно-правових актів, зокрема, в Україні «Положенням про державну систему моніторингу довкілля» (Положення про державну систему моніторингу довкілля, 1998). Згідно з ним «Державна система моніторингу довкілля – це система спостережень, збору, обробки, передачі, зберігання та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень щодо запобігання негативних змін стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки».

Екотоксикологічний моніторинг – складова частина комплексної системи екологічного моніторингу на усіх його рівнях і напрямках. Це методологія і практика спостережень, вимірювань, збору, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан екосистем (довкілля) при потраплянні до них екотоксикантів, прогнозування його змін і розробки науково обґрунтованих реко-

мендацій для прийняття рішень щодо запобігання негативних змін стану екосистем та дотримання вимог безпеки. Основні його об'єкти – атмосфера, ґрунт, вода, біота, а також лісова і сільськогосподарська продукція, корми для тварин і харчові продукти для населення (Шелест та ін., 2007).

Саме в результаті екотоксикологічного моніторингу у свій час постало питання про правомірність основної парадигми екології, яку можна сформулювати так: «Якщо відсутні негативні наслідки для людини, вона захищена, то захищені також інші представники біоти». Ця парадигма не враховувала, зокрема того, що кожному біологічному виду властива індивідуальна чутливість до дії екотоксикантів, враховуючи їх механізми дії. Така чутливість значно варіює навіть в межах одного виду. Так, наприклад, до дії радіаційного чинника свині та вівці менш стійкі, ніж людина (Кутлахмедов та ін., 2011).

Екотоксикологічний моніторинг, який є складовою частиною загальної системи екологічного моніторингу, спрямований, насамперед, на забезпечення захисту людей і охорону довкілля від негативного впливу екотоксикантів.

Планування екотоксикологічного моніторингу розглядається у вигляді спеціальної програми, яка охоплює: аналіз і уточнення мети та завдань моніторингу, пункти спостереження, вимірювальні показники та їх кількісні характеристики, методи моніторингу, розробку, модифікацію, адаптацію й аналіз баз даних, сферу впровадження та інформаційне поширення результатів моніторингу (див. рис.).

Основа моніторингу – це визначення у кількісному відношенні показників, які адекватно показують реальну ситуацію, а також дають можливість створення поточних і довгострокових прогнозів. Нині, як відмічалось, переважними є фізико-хімічні методи в екотоксикологічному моніто-



рингу, а саме якісне та кількісне визначення екоотоксикантів у екосистемі. Результати досліджень порівнюють з існуючими нормативними концентраціями цих речовин і на основі цього приймається рішення. Такий підхід не задовольняє сучасні вимоги до екологічної безпеки екосистем. Визначення як складу, так і концентрацій наявних в екосистемі екоотоксикантів для повноцінного моніторингу необхідно, але також потрібно мати інформацію про стан біоти (про різноманітність видів, чисельність їх представників, відтворюваність тощо), а також показники життєдіяльності організмів, особливо тих, які найбільше вражаються. Саме це дозволяє визначити механізми токсичної дії екоотоксикантів (в тому числі за сумісної їх дії), що сприяє розробці заходів безпеки для біоти екосистем.

Стосовно запобігання негативного впливу екоотоксикантів на біоту екосистем і здоров'я людини найкращим рішенням було б заборонити їх викиди у довкілля. Такі дії запроваджуються для найбільш небезпечних, але 100 % це можна зробити, якщо повністю заборонити їх виробництво в усьому світі, що неможливо. Різноманітні галузі людської діяльності в епоху інтенсифікації промисловості і сільського господарства, залучення все нових синтетичних матеріалів спричиняє викиди у довкілля великої кількості екоотоксикантів. Безумовно, відповідними міжнародними й державними органами ведеться контроль вмісту екоотоксикантів у об'єктах екосистем, а також є вимоги, щоб їх рівень не перевищував максимального допустимі рівні (МДР). Проте чинні системи нормативів не забезпечують у повній мірі екологічну безпеку екосистем. Можна навести багато причин чому це так, певні з яких можливо подолати організаційними заходами, але залишається те, що нормативи щодо вмісту екоотоксикантів у довкіллі

повинні бути надзвичайно ретельно проаналізовані на основі результатів, які отримані сучасними методами. Необхідно також чітко усвідомити, що лабораторні дослідження не здатні цілком і повністю замінити виробничі (польові), які безпосередньо проведені в конкретних досліджуваних екосистемах. Певну допомогу у розв'язанні існуючих проблем, а, насамперед, відображення наслідків забруднення екоотоксикантами екосистем дає біомоніторинг, тобто метод біологічної індикації, який уже набув широкого застосування при здійсненні моніторингу довкілля і це, оскільки має велику перспективу, тільки все більше використовується.

Біоіндикація – це виявлення біологічно значущих екологічних навантажень, яке засноване на реакції живих організмів та їх співтовариств (біоти) з метою адекватного відображення рівня і комплексного характеру забруднення екоотоксикантами довкілля, а також діагностики ранніх порушень в найбільш чутливих компонентах біотичних співтовариств (Жирнов та ін., 2017). Методи біоіндикації ґрунтуються на використанні організмів або їх співтовариств, які називають біоіндикаторами (тест-об'єктами), наявність яких в екосистемі слугує показником якого-небудь природного процесу або присутності деяких речовин (Мусієнко та ін., 2002).

Біоіндикація базується на біотестуванні – виявленні у вільно живучих організмів уражень та відхилень від норми, що є ознакою несприятливого впливу уражуючих чинників (в тому числі екоотоксикантів); це процедура встановлення токсичності середовища за допомогою спеціально відібраних живих організмів (тест-об'єктів), які сигналізують про небезпеку для життєво-важливих функцій (Жирнов та ін., 2017).

Методами біоіндикації можна визначити наявність у середовищі того чи іншого

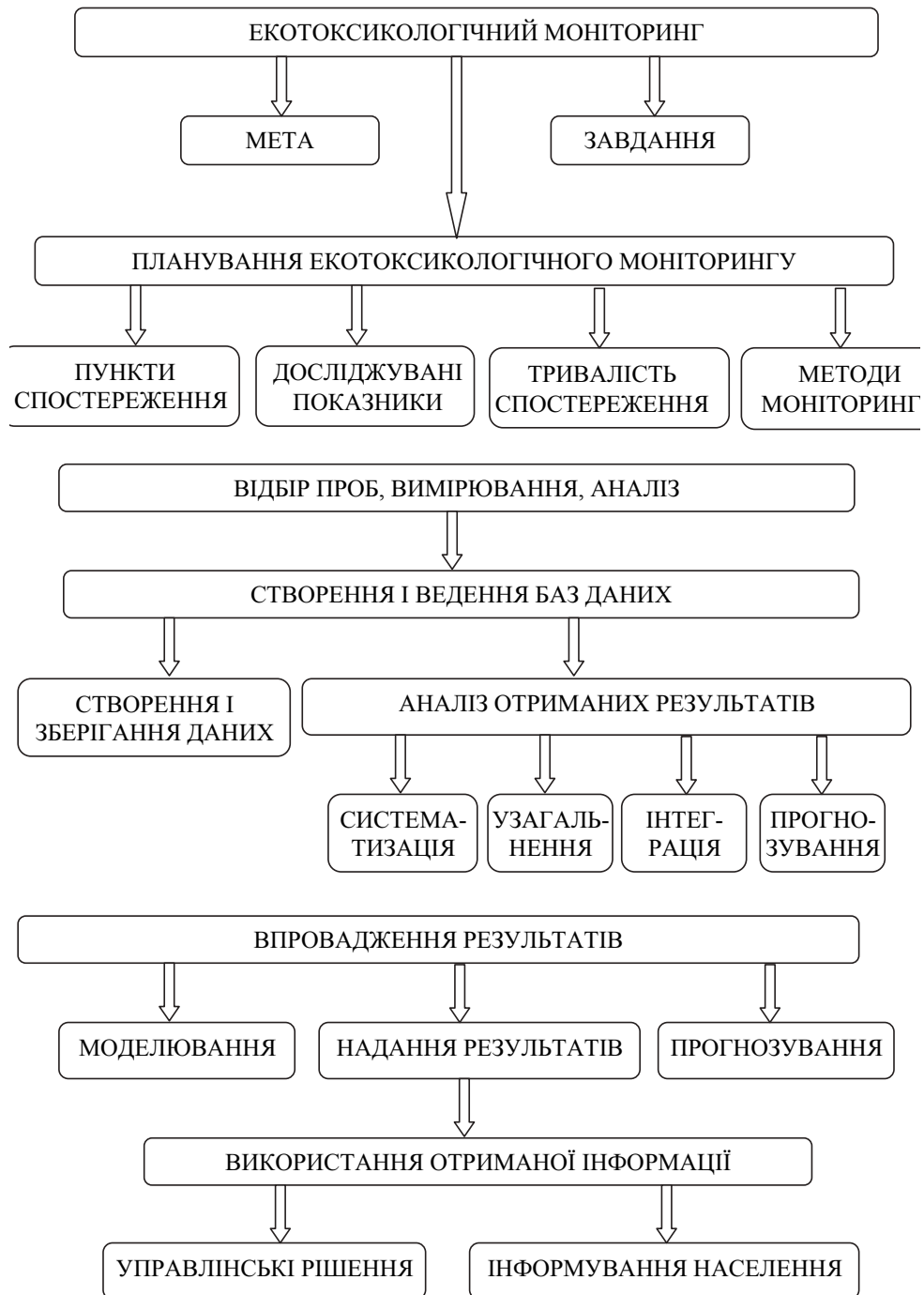


Рис. Схема програми екотоксикологічного моніторингу.

екотоксиканта за станом найбільш чутливих до нього організмів, направленість дії цих екотоксикантів чи їх комплексів, а за використання біологічних аналітичних методів (фізіологічних, біохімічних, генетичних тощо), що повинно робитися обов'язково, також механізми дії екотоксикантів на організми.

Основа усіх методів біоіндикації – як відмічалось, виявлення реакції біоіндикаторів (тест-об'єктів) на дію екотоксикантів, але ці методи можуть різнитися між собою підходами. Насамперед, це, виходячи з конкретної ситуації, цілі та завдання досліджень, добір біоіндикаторів, володіння дослідниками сучасними адекватними методиками та багато ще іншого.

Висновки і перспективи. Методами біоіндикації, за використання відповідних живих тест-об'єктів, можна якісно і кількісно оцінити біологічні ефекти дії

екотоксикантів у екосистемах. Основні їх переваги перед фізико-хімічними методами: довготривала присутність біоіндикаторів (тест-об'єктів) в екосистемі, що дає можливість здійснювати інтегральну оцінку дії екотоксикантів (в тому числі за хронічного слабкого впливу); дозволяє фіксувати результат сумісної дії багатьох екотоксикантів; виявляє швидкість змін, що відбуваються в екосистемі за дії негативних чинників; сприяють нормуванню допустимих навантажень на екосистемі, що різняться за своєю стійкістю до уражуючого чинника внаслідок, наприклад, різних географічних зон тощо; дозволяють проводити відповідні кореляції стосовно можливого впливу досліджуваних екотоксикантів на здоров'я людини та багато іншого, в тому числі з економічних міркувань, оскільки ці методи менш затратні, ніж фізико-хімічні.

Література

1. Мусієнко М. М., Серебряков В. В., Брайон О. В. Екологія. Охорона природи: словник-довідник. К.: Знання, 2002. 550 с.
2. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. Научные основы экобиотехнологии. М.: Мир, 2006. 504 с.
3. Екологічна біохімія: навчальний посібник / В. М. Ісаєнко, В. М. Войціцький, Ю. Д. Бабенюк, С. В. Хижняк, В. М. Ільїн, С. А. Олійник. К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. 440 с.
4. Радіоекологія: навчальний посібник / І. М. Гудков, В. А. Гойченко, В. О. Кашпаров, Ю. О. Кутлахмедов, Д. І. Гудков, М. М. Лазарев. Новоград-Волинський: Новоград, 2011. 368 с.
5. Жирнов В. В., Савченко Д. А. Біоконверсія відходів. Частина I: підручник для студентів спеціальності – 161 «Біотехнологія та біоінженерія». К.: ДДП Експо-Друк, 2017. 302 с.
6. Жегунов Г.Ф. Законы биологии. Природа жизни: учебное пособие. Харьков: Кондор, 2006. 304 с.
7. Кутлахмедов Ю. О., Войціцький В. М., Хижняк С. В. Радіобіологія: підручник. К.: ВПЦ Київський університет, 2011. 543 с.
8. Постанова КМУ України від 30.03.1998 р. № 391 Положення про державну систему моніторингу довкілля. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL [https:// zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF/ed20040621](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF/ed20040621) (дата звернення: 07.03.2019).
9. Біологія: підручник для студентів вищих навчальних закладів / З.М. Шелест, В.М. Войціцький, В.А. Гайченко, О.М. Байрак. Київ: Кондор, 2007. 760 с.

References

1. Musienko, M. M., Serebryakov, V. V., Brayon, O. V. (2002) *Ekologiya. Ohorona prirodi: slovník-dovidnik* [Ecology. Nature Conservation: Dictionary-Directory]. Kyiv: Znannya, 550.
2. Kuznetsov, A.E., Gradova, N. B. (2006) *Nauchnie osnovi ekobyotekhnolohyy* [Scientific fundamentals of eco-biotechnology]. M.: Mir., 504.
3. Isaenko, V. M., Voitsitskiy, V. M., Babenyuk, Yu. D., Khyzhnyak, S. V., Il'yn, V. M., Oliynik, S. A. (2005) *Ekologichna biokhimija* [Ecological biochemistry]. Kyiv: Knyzhkove vydavnytstvo NAU, 440.

4. Gudkov, I.M., Goychenko, V.A., Kashparov, V.O. Kutlakhmedov, Yu. O., Gudkov, D. I. Lazarev M. (2011) Radioekoloziia: navchalnyi posibnyk [Radioecology: textbook] Novograd-Volynsky: Novograd,
5. Zhirnov V. V., Savchenko D. A. (2017) Biokonversiiia vidkhodiv. Chastyna I: pidruchnyk dlia studentiv spetsialnosti – 161 «Biotekhnolohiia ta bioinzheneriia» [Bioconversion of waste. Part I: textbook for students of the specialty - 161 "Biotechnology and bioengineering"]. Kyiv: DDP Ekspo-Druk.
6. Zhegunov G.F. (2006) Zakoni byolohy. Pryroda zhyzny: uchebnoe posobyie [Laws of Biology. Nature of life: textbook]. Kharkiv: Condor.
7. Kutlakhmedov, Ju.O., Voitsitskiy, V.M., Khyzhnyak, S.V. (2011) Radiobiologhija [Radiobiology]. Kyiv: VPC Kyiv University.
8. Regulation of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 30, 1998, No. 391 Regulations on the state system of environmental monitoring. [Electronic resource]. Access mode: URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF/ed20040621> (referral date: 07.03.2019)
9. Shelest, Z.M., Voitsitskiy, V.M., Haichenko, V.A., Bairak, O.M. (2007) Bioloziia: pidruchnyk dlia studentiv vyshchikh navchalnykh zakladiv [Biology: textbook for students of higher educational institutions]. Kyiv: Condor.

SUMMARY

V. M. Voitsitskiy, S. V. Midyk, T. V. Poltavchenko, O. V. Berezovskiy, O. Yu. Kepple, A. O. Velynska. *Ecosystem monitoring: goals and necessity, role of bioindication. Biological Resources and Nature Management. 2019. 11, №3–4. P.39–46. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.005>*

Abstract. The definition of the term "ecotoxicants" is given and information is provided on the main natural and anthropogenic sources. Attention is focused on the possibility of ecotoxicants entering the ecosystem and their negative effects on biota, including human health.

The objectives and the need for ecotoxicological monitoring, both for regulatory emissions and discharges of toxicants into the environment, and for emergency purposes, have been identified to obtain objective information about the state of ecosystems and to predict possible changes, to develop measures to prevent their deterioration under ecotoxicants. The scheme of the program of ecotoxicological monitoring of ecosystems is given.

The emphasis is on bioindication methods for environmental monitoring, the feasibility of their implementation. It is noted that these methods, based

on the response of living organisms and their communities to the action of ecotoxicants, can adequately reflect the presence in the environment of a particular pollutant, determined by the state of certain organisms (bioindicators, test objects). Information is provided on the possibility of bioindication methods to determine the complex nature of pollution and to diagnose early violations of the state of biota, to identify secondary effects of pollutants that are caused by their accumulation and transformation in various chains and their links in ecosystems. The information obtained by bioindication methods to a certain extent with appropriate correlation can be used to predict the effect of these ecotoxicants or their complexes on human health.

Keywords: ecotoxicants, ecosystems, monitoring, bioindication, test-objects

АННОТАЦІЯ

В. М. Войціцький, С. В. Мідик, Т. В. Полтавченко, О. В. Березовський, О. Ю. Кеппл, А. А. Велинська. *Мониторинг экосистем: цели и необходимость, роль биоиндикации. Биоресурсы и природопользование. 2019. 11, №3–4. С.39–46. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.005>*

Аннотация. Дано определение понятия «экоотоксиканты» и предоставлены сведения относительно основных природных и антропогенных их источников. Акцентируется внимание на возможности поступления экоотоксикантов в экосистемы и их негативного влияния на биоту, в том числе здоровье человека.

Определены цели и необходимость проведения экоотоксикологического мониторинга окру-

жающей среды как при нормативных, так и аварийных выбросах, и сбросах экоотоксикантов в окружающую среду с целью получения объективной информации о состоянии экосистем и прогнозирования возможных изменений, разработки мер предупреждения о их ухудшении при действии экоотоксикантов. Приведена схема программы экоотоксикологического мониторинга экосистем.



Сделан акцент на методах биоиндикации при мониторинге окружающей среды, целесообразности их проведения. Отмечается, что эти методы, которые основаны на реакции живых организмов и их сообществ на действие экотоксикантов, способны адекватно отражать их присутствие в окружающей среде по состоянию определенных организмов (биоиндикаторов, тест-объектов). Предоставляется информация о возможности методами биоиндикации определять комплексный характер

загрязнения и диагностировать ранние нарушения состояния биоты, выявлять вторичные эффекты действия загрязнителей, которые вызваны их накоплением и трансформацией различными цепями экосистем. Полученные методами биоиндикации сведения при соответствующей корреляции можно использовать для прогнозирования действия экотоксикантов или их комплексов на здоровье человека.

Ключевые слова: *экотоксиканты, экосистемы, мониторинг, биоиндикация, тест-объекты*