

3. Васик Л.С. Міські екосистеми / Л.С. Васик, Р.Ю. Гаврилянчик, І.А. Шелудченко [та ін.] // Інженерна екологія. Ч. VIII. – Кам'янець-Подільський : ТОВ "Каліграф", 2010. – 136 с.
4. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2001. – 326 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
6. Рудько Г.І. Конструктивна геоекологія / Г.І. Рудько, О.М. Адаменко. – К. : ТОВ "Маклаут", 2008. – 320 с.
7. Шелудченко Б.А. Методологія досліджень екосистем / Б.А. Шелудченко. – Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2008. – 110 с.

УДК 736.035+57.082.14:630.114.443.1

Лабій Ю.М.

*Прикарпатський національний
університет ім. В. Стефаника,
м. Івано-Франківськ*

МОДЕЛЬ ЛУЧНИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЇХ НА РАННІХ СТАДІЯХ

Запропонована модель лучного біогеоценозу, що дозволяє досліджувати порушення як наслідок забруднення ґрунту і повітря відходами промисловості, а також вести пошук оптимальних умов середовища для біосинтезу рослинами цінних метаболітів.

Ключові слова: модель, біоіндикатор, експоненціальна залежність, рівняння регресії, облікова ділянка.

Предложена модель лугового биогеоценоза, позволяющая исследовать нарушения в начальной стадии процесса как следствие загрязнения почвы и воздуха отходами промышленности, а также вести поиск оптимальных условий среды для биосинтеза растениями ценных метаболитов.

Ключевые слова: модель, биоиндикатор, экспоненциальная зависимость, уравнения регрессий, учетный участок.

The model of meadowy biogeocoenose is revealed in the article. It gives the opportunity to investigate some displacement as a result of ground and air pollution by waste products. The model leads searching of optimal conditions of the environment for plants' biosynthesis of valuable metabolome.

Key words: model, bioindicator, exponential dependency, regression equation, register plot.

Актуальність проблеми. Прикарпатська нафтогазоносна провінція є також зоною із значними можливостями для розвитку туризму. На площі, що займає тільки 6% території України, зосереджено близько 20% лісового фонду держави [1].

Мету перебування в гірській місцевості подорожуючі вбачають, головним чином, у поліпшенні здоров'я. Екологічні обставини, притаманні окремим природним комплексам, проявляють виражену позитивну дію на людей. Приміром, лісові та лучні рослини в певні періоди вегетації продукують речовини, здатні нормалізувати психічний стан, лікувати легеневі недуги, на території регіону є джерела мінеральних вод, з яких готують тонізуючі напої, геологічне середовище, особливо відслонення гірських порід, сприяють зніманню втоми.

Посилена експлуатація природних ресурсів, розвиток промисловості нерідко призводить до порушення або повного виснаження комплексів. Для раціональної експлуатації багатств краю треба

володіти інформацією про функціонування природно-антропогенних екологічних систем. В Україні прийнято довгострокову програму розвитку рекреаційно-туристичного та оздоровчо-лікувального комплексу загальнодержавного значення [2]. На базі цієї програми Івано-Франківщина є координатором міжнародного проекту «Підтримка місцевого розвитку в Карпатському регіоні». Виважена державна економічна політика сприятиме збільшенню дохідної частини бюджету, зростанню зайнятості населення та покращанню рівня його добробуту.

У Прикарпатті при експлуатації родовищ нафти, калійних солей, гіпсу, газотранспортної системи, роботи електростанцій, діяльності заводів хімічної промисловості й ін. в атмосферу та гідросферу поступають відходи виробництва. Усе це, а також будівництво цивільних і промислових споруд, прокладання нових та удосконалення існуючих доріг, розширення туризму викликали істотні зміни в біосфері. Науковці виявили зниження урожайності окремих видів лікарських рослин (плаун баранець, арніка гірська), порушення рівноваги біохімічних процесів в організмах, погіршення кормової якості різнотравно-злакових лук, ураження лісів кореневою губкою, порушення біосинтезу рослинами речовин. Раціональне господарювання вимагає обширної інформації про екологічний стан регіону [9].

Методика досліджень. Пропонована модель дає змогу констатувати зрушення розвитку лучних біогеоценозів на ранніх стадіях деградації. Науковцям давно відомі біоіндикатори – організми, наявність яких є показником певних природних процесів або умов зовнішнього середовища [10]. Приміром, скупчення рибоїдних птахів є показником де водиться риба; за ботанічним складом рослин можна дати оцінку якості ґрунту й ін. В основі біоіндикації лежать знання про залежність розвитку організмів від умов навколишнього середовища. Увагу ботаніків давно привернули морфологічні зміни в рослинах під впливом антропогенних дій на екосистеми. Ще в середині XIX ст. спостерігали в околиці фабрик пошкоджені димом рослини. У Першій світовій війні зауважили зміну забарвлення листків внаслідок застосування отруйних газів. Придорожні насадження зазнають пошкоджень в результаті посипання взимку дорожнього полотна сіллю під час ожеледиці. Випадання кислотних дощів стимулює появу фітоценозу – хвороби помідорів, картоплі.

В останні десятиліття біоіндикація набула широкого застосування і не тільки для виявлення порушень розвитку біогеоценозів, що відбуваються внаслідок діяльності людей. Її використовують для пошуку покладів руд, визначення якості питної води, прогнозування землетрусів і виверження вулканів та ін. Разом з тим, у численних випадках інформація про зрушення розвитку біогеоценозів приходить із запізненням. Деградацію природних комплексів помічають після шкоди, яку завдало лихо народному господарству країни.

В основу пропонованої моделі закладена властивість лучних ценозів постійно перебувати в стані мінливості, яка чутлива до різних природних або антропогенних факторів. Відбуваються зміни із року в рік, пов'язані з періодами вегетації, а також на протязі доби. З часом лука зазнає глибокого переродження. Змінам підлягає урожайність травостоїв, зникають окремі види рослин і появляються нові. Інтенсивність змін чутлива до кліматичних умов, рівня ґрунтових вод, напрямку вітру, хімічного складу повітря, пішохідного завантаження, залежить також від ботанічного складу рослин, поширених поряд з поляною й ін. Зміни обумовлені взаємодіями між істотами, причетними до фітоценозу. Домінуючий вид рослин на поляні впливає на інші, які у свою чергу проявляють зворотну дію. Взаємовідносини рослин найчастіше здійснюються через прямий контакт між особинами і часто бувають замаскованими. Рослина в процесі життєдіяльності змінює оточуюче середовище, яке шляхом абіотичних факторів впливає на сусідні організми.

У природі поширена конкурентна взаємодія рослин. Для самозабезпечення необхідними умовами існування особини намагаються заволодіти якомога більшим життєвим простором, сонячним світлом, вологою, поживними речовинами, позбавляючи цих умов організмів-сусідів. Корені рослин охоплюють максимально можливий об'єм ґрунту, щоб засвоювати воду, поживні і мінеральні речовини, а надземна частина тягнеться вгору, для сприймання прямого сонячного проміння. Рослини, ріст яких є сповільнений, витісняються іншими, якщо тільки вони не пристосовані до умов пониженого освітлення. Результати конкурентних взаємовідносин зручно спостерігати на полянах у місцях контрастного переходу освітленості луки. Під одним деревом поширена інша трава ніж на середині поляни. Серед живих істот існують також сприятливі відносини. Під цими термінами об'єднують усі

інші випадки взаємодій, якщо один вид організмів одержує користь в результаті співжиття з іншим не приносячи йому при цьому шкоди. Ці взаємовідносини зустрічаються рідше за конкуренцію.

У процесі розвитку фітоценозів окремі види рослин зникають, інші збільшують урожайність – виникає нова екологічна рівновага. У пропонуваній моделі кількісним показником, що характеризує луку, прийняли масову частку рослини-індикатора по відношенню до оточуючих рослин, або окремого виду, що зустрічається поряд з рослинами-індикаторами. Модель дозволяє одержувати інформацію про інтенсивність мінливості луки. Процес спостереження не вимагає розуміння механізмів взаємодій, що мають місце у біогеоценозі. Застосування моделі дозволяє проводити дослідження без складної технічної бази або дефіцитних реактивів.

Результати досліджень. Методика обстеження полягає у наступному: на поляні закладались 10-30 облікових ділянок, розподіляли їх так, щоб рівномірно охопити всю територію фітоценозу. Площу облікових ділянок, найчастіше в 1 кв. м, зручно помічати дерев'яними палками довжиною 1 м. На кожній ділянці повністю зривають і зважують надземну частину рослин поіменованих видом *A* і окремо оточуючих рослин виду *B*. Під рослинами виду *A* розуміють ті, урожайність яких чутлива до фактора, прояв якого може загрожувати зрушенню рівноваги біогеоценозу. До рослин виду *B* можна віднести усі, що часто зустрічаються поряд з видом *A*. Це може бути декілька видів або навіть усі інші рослини облікової ділянки разом узяті. Для порівняльної оцінки впливу промислових забруднень, що поступають через атмосферу на розвиток рослин виду *A* і виду *B*, зручно скористатись масовою часткою (ω) рослин виду *A* по відношенню до сумарної маси (m) рослин видів *A* і *B*, тобто шукана модель, це залежність масової частки рослин виду *A* від загальної урожайності травостою: $\omega = f(m)$.

Для побудови математичної моделі покладено гіпотезу, за якою незначне зростання маси травостою супроводжується зміною масової частки рослин виду *A*. При мізерно малих змінах названих величин між ними існує лінійна залежність: приріст масової частки рослин виду *A* в травостой ($\Delta\omega$) є прямо пропорційний масовій частці цієї рослини на луці (ω) в момент спостережень та приросту загальної маси рослин (Δm): $\Delta\omega = k \cdot \omega \cdot \Delta m$. У цьому рівнянні k – коефіцієнт пропорційності.

Перейшовши до границь, перепишемо складене рівняння у виді диференціального з відокремленими змінними:

$$\frac{d\omega}{\omega} = k \cdot dm . \quad (1)$$

Розв'язавши (1) та провівши відповідні розрахунки, одержимо модель:

$$\omega = B e^{km} , \quad (2)$$

де B і k – сталі величини. Для знаходження цих сталих проводять спостереження біогеоценозу. Польові заміри ведуть на облікових ділянках. На кожній із них зривають надземні частини рослин виду *A* і виду *B*, зважуючи окремо вид *A* і разом (m) вид *A* і вид *B*. Результати зважувань записують у польовий журнал. Вираховують масову частку (ω) рослин виду *A* по відношенню до маси всіх зірваних на ділянці рослин.

В результаті обстежень луки дослідник одержує 10-30 пар чисел. Між значеннями ω і m існує експоненціальна залежність. Для зручності розрахунків функцію (2) логарифмують і залежність між варіантами переводять в лінійну: $lg\omega = lgB + mklge$. За одержаними замірами складають таблицю пар чисел: $lg\omega$ і m . Користуючись комп'ютерною програмою excel визначають сталі лінійного рівняння регресії lgB і $klge$, а також коефіцієнт кореляції r . Знаходять числові значення сталих B і k та приводять рівняння до виду (2).

Дослідження моделі дозволяє зробити ряд висновків. У випадку $k < 0$, тобто з моделі стає очевидним, що зростання урожайності травостою, призводить до зменшення масової частки рослин виду *A*. Виявлена ситуація свідчить, що рослини, які цікавлять дослідника, програють у конкурентній боротьбі з оточуючими травами. При $k > 0$, навпаки, зростання аргументу супроводжується ростом функції. Рівняння вказує на те, що збільшення урожайності луки підсилює конкурентну здатність рослин виду *A*. Зміни, що відбулися в розвитку луки, проявили негативну дію на домінуючий вид рослин і меншу шкоду принесли рослинам виду *A*, або навіть були їм корисними.

Приклад застосування моделі. Досліджували злаково-різнотравну луку площею біля 2 га, яка простягається на віддалі 70-90 м вздовж трубопроводу для транспортування газу із Богородчанського підземного сховища. В якості рослини-біоіндикатора обрали гірську конюшину. Заклали 10 облікових ділянок. На кожній зривали і зважували надземну частину конюшини і окремо всю іншу траву. На першій ділянці заміри відповідно становили 8,2 г і 169,5 г, тобто загальний урожай трави був $m=8,2+169,5=177,7$ г, а масова частка конюшини $\omega = 8,2:177,7=0,046$. У табл. 1 представлені дані, що характеризують траву на усіх десяти облікових ділянках. Приведено загальний урожай рослин m , масову частку конюшини в травостой ω і її десятковий логарифм $lg\omega$.

Таблиця 1

Кількісні характеристики трави на облікових ділянках

m	177,7	195,5	189,6	161,0	115,0	195,0	155,0	155,6	128,8	134,1
ω	0,046	0,045	0,479	0,095	0,003	0,263	0,004	0,026	0,003	0,002
$lg\omega$	-1,34	-1,33	-0,32	-1,02	-2,30	-0,58	-2,40	-1,59	-2,52	-2,70

Ввівши в пам'ять комп'ютера пари чисел $lg\omega$ і m і запустивши розрахунок лінійного рівняння регресії, одержали коефіцієнт кореляції $r=0,767$, кутовий коефіцієнт рівняння $klge=0,0217$, вільний член рівняння $lgB = -5,05$, звідки, за нескладним розрахунком $k=0,0498$, $B=0,000089$. І, таким чином, шукана модель $\omega = 10^{-5} \cdot 8,9e^{0,0498m}$.

Оскільки значення коефіцієнтів k і B мізерно малі, треба розуміти, що урожай конюшини проявляє чутливість до тих же самих умов розвитку, що і домінуючі рослини луки і в цілому лука не зазнає вагомих змін. У рівнянні регресії коефіцієнт кореляції r достатньо високий і це підтверджує переконання в тому, що розвиток конюшини змінюється синхронно з іншими рослинами.

Запропоновану модель можна використовувати також для іншої мети. Дослідження деградації фітоценозів в наслідок заруднення їх промисловими відходами доцільно поєднувати з корисними спостереженнями – паралельно вести пошук умов, при яких окремі види рослин посилюють продукування цінних речовин. Для таких досліджень модель вимагає незначної модернізації, а спостереження лук ускладнюються. Необхідно, щоб обрана рослина-біоіндикатор приваблювала дослідника також іншими якостями – використовувалась в кулінарії, парфюмерії або фармації. На території Прикарпатської нафтогазоносною провінції заготовляють у промислових масштабах 14 видів лікарських рослин [3]. Виготовлені з них ліки проявляють різну активність у залежності від місцевості, де рослини зібрані [8].

Хімічний і гранулометричний склад ґрунту, висота місцевості над рівнем моря, ботанічний склад луки та ряд інших умов проявляють стимулюючу дію на здатність рослин продукувати метаболіти. Існує уява, що усі ці фактори діють опосередковано – вони обумовлюють формування ботанічного складу луки, а головною причиною продукування рослинами різноманітних речовин є конкурентна взаємодія. У боротьбі за виживання особини синтезують речовини, призначення яких є сповільнення розвитку або некроз органів конкурента. Ці речовини передаються через ґрунт або повітря. У випадках пониженої урожайності рослини, вона протидіє захопленню життєвого простору оточуючими травами і для самозбереження може посилено синтезувати речовину, яка виявляється цінною для людей.

Взаємовідносини особин впливають на численні процеси життя. Наприклад, клубні картоплі сорту «Павлінка», вирощеної на забур'яненому ґрунті, містять 2,72% білків і 17,12% крохмалю по відношенню до сирової маси, а на очищеному від бур'янів при усіх інших аналогічних умовах вирощування – білків 2,25% і крохмалю 20,47% [4]. У рослинах поряд з білками, нуклеїновими кислотами, вуглеводами, ліпідами і вітамінами є різноманітні речовини вторинного походження, які часто є цінними для фармакохімії, кулінарії, парфумерної промисловості і ін. Інтенсивність продукування рослинами метаболітів залежить не тільки від періоду вегетації та ґрунтово-кліматичних умов розвитку. В окремих випадках взаємовідносини між особинами є важливою умовою, що впливає на перебіг біохімічних процесів, асиміляції – засвоєння поживних речовин та дисиміляції – їх розкладу і виділення.

Для застосування запропонованої моделі з метою дослідження луки і її впливу на біосинтез продуктивним видом рослин цінної сполуки, вимірюють інші, у порівнянні з розглянутим прикладом, кількісні показники біогеоценозу. В основу моделі кладуть гіпотезу, за якою концентрація (C) цінної сполуки в рослинах–продуцентах знаходиться в залежності від масової частки (ω) названих рослин у травостой:

$$C=f(\omega). \quad (3)$$

Провівши відповідні перетворення (3) та розрахунки, як і при побудові попередньої моделі, прийдемо до висновку, що продукування рослинами цінної речовини перебуває в експоненціальній залежності від масової частки рослин-продуцентів у травостой:

$$C=Be^{k\omega}. \quad (4)$$

Величини B і k – сталі, які дослідник визначає за даними спостережень.

Застосування моделі мало відрізняється від наведеного прикладу. Закладають на луці облікові ділянки. Збирають проби – надземну частину, корені, органи або цілі рослини досліджуваного виду, а також окремо оточуючі трави. Усе це зважують. Потрібний матеріал упаковують в паперові торбинки і доставляють в лабораторію. Концентрацію цінної речовини в рослинах визначають хімічними або біологічними методами і виражають в одиницях, зручних для дослідника. Термін «концентрація» тут застосований умовно. Цю кількісну характеристику не завжди можна виразити в масових частках в розрахунку на свіжо зірвані чи висушені рослини, або числом моль в одиницях об'єму виготовленого препарату. Іноді неможливо дізнатись про концентрацію речовини в досліджуваному соку продуцента або екстракті, виготовленому з рослин.

Біологи і медики часто користуються замість концентрації умовними одиницями, які називають активністю. Приміром, активність витяжки-препарату виражають через число клітин, які здатні вбити відомий об'єм препарату в рідині, що містить клітини протягом інкубаційного часу. Існують чутливі методи аналізу цих величин (концентрацій) з доброю відтворюваністю аналізу [6]. Такими умовними числовими характеристиками можна користуватись замість концентрації при застосуванні запропонованої моделі.

Завершивши обстеження та первинні розрахунки, кожен облікову ділянку характеризують трьома величинами: концентрацією цінної сполуки в рослинах (C_i), масовою часткою досліджуваного виду рослин у травостой (ω_i) і логарифмом цієї масової частки ($lg\omega_i$). Логарифмуванням переводять експоненціальну залежність (4) в лінійну і знаходять коефіцієнти рівняння регресії, як у вище наведеному прикладі. Парамі чисел завантажують пам'ять комп'ютера (таблицю excel) і запускають розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії. На табло висвітлюються числові значення сталих B і k , а також коефіцієнта кореляції r .

Висновки. Запропонована модель дає змогу виявляти ландшафти, на яких деградація фітоценозів є в початковій стадії. Крім цього появляється можливість вести пошук місцевостей, покритих рослинами, що продукують цінні для людей речовини. Модель пройшла апробацію. Як біоіндикатори забрудненнь ґрунту сполуками металів, можна використовувати поширені види рослин, такі як подорожник і кульбаба [7]. Затративши дещо більше праці, можна паралельно досліджувати цінні рослини-продуценти. Наші спостереження свідчать, що інтенсивність лікувального ефекту препарату, виготовленого з чоловічої папороті, визначається також розташуванням поляни, на якій заготовили рослини [5]. У Прикарпатті і Карпатах розвивається промисловість, а ще більшими темпами розбудовуються і модернізуються нічліжні та гастрономічні об'єкти, вдосконалюється дорожня мережа, допоміжна інфраструктура для різних видів туризму. У ситуації, що виникла, впровадження запропонованої моделі для дослідження екології краю є перспективним.

Література

1. Адаменко О.М. Регіональна екологія і природні ресурси (на прикладі Івано-Франківської області) / О.М. Адаменко, М.М. Приходько. – Івано-Франківськ, 2000. – 278 с.
2. Гуменюк Г.М. Регіональні особливості рельєфу «Горган» для розвитку туристичної галузі. – Розвиток туристичної індустрії в Україні: реалії та перспективи / Г.М. Гуменюк // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Тернопіль, 2004. – С. 105-111.

3. Кит С.М. Ресурсы дикорастущих лекарственных растений Ивано-Франковской области, их рациональное использование / Ю.М. Лабий, Я.С. Гудывок, Л.Г. Савицкая, Б.В. Демчук // Ресурсы дикорастущих лекарственных растений СССР. – М., 1975. – Вып. 3. – С. 115-118.
4. Лабий Ю.М. Вміст мікроелементів у різних сортах картоплі, вирощуваної в Івано-Франківській області / Ю.М. Лабий // Досягнення ботанічної науки на Україні. – К. : Наукова думка, 1974. – С.83-84.
5. Лабий Ю.М. Продуцирование папоротником биологически активных соединений в зависимости от содержания в почве магния и свинца / Ю.М. Лабий // 7-ой съезд Украинского ботанического общества : тезисы докл. – К. : Наукова думка, 1982. – С. 92-93.
6. Лабий Ю.М. О повышении точности измерения противоопухолевой активности препаратов / Ю.М. Лабий // Измерительная техника. – 1990, №7. – С. 57-58.
7. Лабий Ю.М. Подорожник и одуванчик как индикаторы загрязнения среды соединениями металлов / Ю.М. Лабий // Одиннадцатая Всесоюзная конф. по биологической роли микроэлементов и применению в сельском хозяйстве и медицине : тезисы докладов, II том. – Самарканд, 1990. – С. 13-14.
8. Лабий Ю.М. Сравнительная оценка противоопухолевой активности экстрактов из лекарственных растений Предкарпатья / Ю.М. Лабий // Ботанические исследования на Украине. – Киев : Наукова думка, 1990. – С. 60-61.
- 9 Рудько Г.І. Екологічна безпека техноприродних геосистем адміністративних областей (на прикладі Львівської області) / Г.І. Рудько, В.С. Гошовський. – К. : Академпрес, 2009. – 192 с.
10. Слободян В.О. Біоіндикація / В.О. Слободян. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2004. – 196 с.

УДК. 5284 829.7; 632.15

Андрєєв С.М., Красовський Г.Я., Крета Д.Л.
*Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»*

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ МОРСЬКИХ АКВАТОРІЙ ТА ПРИБЕРЕЖНИХ ТЕРИТОРІЙ ЧОРНОГО І АЗОВСЬКОГО МОРІВ

Розроблені технології космічного моніторингу, які сприяють інформаційній підтримці рішень з питань охорони і раціонального використання природних ресурсів Чорного і Азовського морів. Ці технології базуються на нових підходах до завдань тематичного дешифрування космічних знімків морських акваторій і інтерпретації отриманих при цьому картографічних моделей. Із застосуванням геоінформаційної системи ArcGIS 9.2 синтезовані векторні карти техногенного навантаження прибережних вод українського сектору Чорного і Азовського морів.

Ключові слова: космічний моніторинг, дешифрування космічних знімків, акваторія, картографічні моделі.

Разработаны технологии космического мониторинга, которые способствуют информационной поддержке вопросов охраны и рационального использования природных ресурсов Черного и Азовского морей. Эти технологии базируются на новых подходах к задачам тематического дешифрирования космических снимков морских акваторий и интерпретации полученных при этом картографических моделей. С использованием геоинформационной системы ArcGIS 9.2 синтезированы векторные карты техногенной нагрузки прибрежных вод украинского сектора Черного и Азовского морей.

Ключевые слова: космический мониторинг, дешифрирование космических снимков, акватория, картографические модели.

The technologies for space monitoring which help information support of decision-making process for defense and proper usage of nature resources of the Black and Azov Seas were carried out. These technologies are based on main principles for thematic decoding of sea water space pictures and interpretation