

MODELOWANIE AGROEKOSYSTEMÓW

Henryk Sandner

Instytut Ekologii PAN

Pojęcie organizacji czy modelowania ekosystemów coraz częściej powtarza się dziś w publikacjach i dyskusjach. Gdy więc zaczyna się Wielki Przetarg może warto przypomnieć, że idea organizacji krajobrazów jest stara, a w Polsce przed wielu laty głosił ją Adam Wodziczko. Pod pojęciem uprawy krajobrazu rozumiał on jego ochronę, pielęgnację i kształtowanie. Pielęgnowanie krajobrazu polega według niego na stosowaniu stałych zabiegów niwelujących powstałe w krajobrazie szkody i przeciwdziałaniu zaburzeniom równowagi biologicznej, jak np. postępującemu stepowieniu kraju. Kształtowanie zmierza do przebudowy zniszczonych krajobrazów, opartej na biologicznych podstawach. Uprawie krajobrazu poświęcił Wodziczko wiele miejsca w swych pracach, zalecając m.in. ochronę wszelkich zadrzewień i zakrzewień, wprowadzanie zadrzewień śródpolnych, pielęgnowanie roślinności miedz.

Tak więc dziś podejmujemy starą ideę, ale jej ewentualne wcielenie w życie odbywać się będzie w innych, lepszych niż dawniej warunkach, gdyż w oparciu o najnowsze zdobycze nauk biologicznych, rolniczych i leśnych.

Moje wystąpienie mógłbym oprzeć na literaturze przedmiotu, musiałbym się jednak wówczas ograniczyć do rozważań teoretycznych, gdyż literatura niewiele zawiera materiałów faktycznych, uzyskanych drogą obserwacji czy eksperymentu. Mając znaczną swobodę, jeśli idzie o konstrukcję referatu, postanowiłem całkowicie zrezygnować z próby jakiejś syntezy na podstawie piśmiennictwa, a zamiast tego przedstawić krótko sam problem oraz własny projekt jego częściowego, bo dotyczącego tylko agroekosystemów, rozwiązania w warunkach krajowych.

Agroekosystemy to twory sztuczne, których egzystencja wymaga stałej działalności człowieka, czyli gospodarki rolnej. Są to twory sztuczne nie tylko ze względu na ich strukturę, ale — w odróżnieniu od ekosystemów leśnych — również ze względu na przedmiot gospodarki, którym są rośliny przetworzone przez człowieka. Od dawna zresztą istnieje tendencja do utrzymywania w agroekosystemach wyłącznie roślin uprawnych.

Agroekosystemy dostarczają człowiekowi żywności i zadaniem gospodarki tymi ekosystemami jest stworzenie t r w a ł y c h warunków ich m a k s y m a l n e j p r o d u k t y w n o ś c i. Są to więc właściwie dwa zadania, niejednokrotnie

kolidujące ze sobą, gdyż tworzone przez człowieka warunki dużej produktywności często okazują się nietrwałe i to w sposób katastrofalny dla gospodarki. Sprawa trwałości dobrych warunków produkcji stała się naszą troską od niedawna. Jest to problem wykraczający poza granicę rolnictwa, szczególnie w zakresie gospodarki wodnej. Jego rozwiązanie leży w sferze najszerzej pojętej gospodarki krajobrazowej. Chcę się tu zająć jedynie sprawą maksymalizacji produktywności agroekosystemów z punktu widzenia ekologii.

Rolnictwo od dawien dawna troszczy się o ilość i jakość produkcji roślinnej. Troskę tę charakteryzuje jednak znaczna jednostronność. Starania koncentrują się na kilku — niewątpliwie najważniejszych — elementach, nie uwzględniają jednak wszystkich, a również nie uwzględniają pewnych negatywnych konsekwencji wprowadzanych ulepszeń. Starania te wiążą się z glebą i samą rośliną. Cały szereg dyscyplin naukowych wkłada ogromny wysiłek, by ustawicznie zwiększać produktywność agroekosystemów.

Już od dawna wiemy, że warunki gospodarki rolnej okazały się szczególnie korzystne dla szkodników i patogenów roślin, zaś niekorzystne dla innych organizmów, które określamy jako pożyteczne dla nas. Szkodnikom i patogenom roślin dostarczamy wartościowego pokarmu, w ilościach i koncentracji umożliwiających im występowanie w ogromnych ilościach. Z pól uprawnych usuwamy natomiast niektóre ogniwa łańcuchów troficznych, niezbędnych dla egzystencji wrogów naturalnych gatunków fitofagicznych. W konsekwencji znaczną częścią płodów rolnych musimy dzielić się z fitofagami. Mamy prawo przypuszczać, że potencjalnie część ta przekracza dziś zdecydowanie 50%. Potencjalnie, gdyż nie pozostajemy bierni. Sytuacja ta zmusiła rolnictwo do innej kategorii starań. Powstała osobna dyscyplina naukowa — ochrona roślin i oczywiście idące w ślad za badaniami odpowiednie działania w praktyce rolniczej. Działania te polegają głównie na bezpośrednim zwalczaniu szkodników i czynników chorobotwórczych. Mamy więc — uproszczając sprawę — trzy sfery działania: gleba, rośliny oraz ich wrogowie. Wydawałoby się, że problem maksymalizacji produkcji roślinnej zamyka się w tych trzech sferach działania. Pozostałyby sprawy meteorologiczne, ale tu możliwości działania są dziś jeszcze bardzo ograniczone. A więc: troska o glebę, obejmująca również zagadnienia melioracyjne, troska o sam materiał roślinny zarówno w sensie hodowlanym jak uprawowym oraz wypracowywanie racjonalnych metod ochrony roślin, to trzy najważniejsze sfery działania w rolnictwie. Niewątpliwie osiągnięcia nauk rolniczych są w tym zakresie ogromne. Starania zresztą nie ustają i można się spodziewać stałego dalszego postępu.

Spójrzmy jednak na sprawy od innej strony. Zastanówmy się nad niektórymi ujemnymi konsekwencjami naszych poczynań oraz nad tym, czy naprawdę problematyka badawcza powinna ograniczać się do przedstawionych tu bardzo lapidarnie trzech sfer działalności. Zaczniemy od spraw związanych z uprawą gleby i roślin. Otóż formy działalności, obejmujące nawożenie, płodozmian i cały cykl zabiegów agrotechnicznych wypracowywane były wyłącznie pod kątem zwiększenia produkowanej biomasy roślinnej i polepszenia jej jakości. Droga do określonych zaleceń wiodła przez żmudne doświadczenia, w których badany był

wpływ poszczególnych czynników na produkcję roślin. W tego rodzaju doświadczeniach z natury rzeczy ograniczone były możliwości badania wpływu tych czynników na inne zjawiska, a w szczególności na działalność szkodników i patogenów roślin czy też ich wrogów naturalnych. Dopiero od bardzo niedawna datują się ściśle badania nad wpływem nawożenia, płodozmianu i innych zabiegów agrotechnicznych na szeroko pojętą zdrowotność roślin uprawnych. Wyniki tych badań są zresztą bardzo interesujące. Trzeba jednak przy okazji nadmienić, że napotykać one na znaczne trudności na drodze do zastosowań praktycznych. Jeśli zatrzymamy się na płodozmianie, to nietrudno wykazać, że w wielu wypadkach ułatwia on utrzymywanie się niektórych gatunków szkodliwych na polach uprawnych, w innych natomiast, przeciwnie, staje się czynnikiem utrudniającym im egzystencję. Dokonanie pewnych zmian mogłoby zlikwidować niekorzystne konsekwencje, nie zmniejszając innych korzyści, które daje płodozmian. Sprawa jest zresztą o wiele bardziej skomplikowana, niż się to kiedyś zdawało i dlatego spróbuję ją nieco naświetlić. Otóż nie chodzi tu tylko o znaczenie pewnych roślin stanowiących zastępczy pokarm dla niektórych owadów lub nicieni, czy też roślin „wrogich” lub pułapkowych. Chodzi również o oddziaływanie wydzielin korzeniowych na mikroflorę glebową. Wydzieliny te, zawierające aminokwasy, cukry, witaminy i inne substancje, stanowią nie tylko dodatkowy pokarm dla mikroorganizmów glebowych, ale mogą na nie oddziaływać stymulująco lub hamująco. Tak na przykład len wydziela do gleby pewien glikozyd stymulujący rozwój grzybów z rodzaju *Trichoderma* i *Penicillium* zaś hamujący rozwój szkodliwego grzyba *Fusarium oxysporum* f. *lini*. Wydzieliny korzeniowe niektórych odmian grochu stymulują z kolei rozwój *Fusarium oxysporum* f. *pisi*, a więc działają szkodliwie. Trudno nie doceniać roli tych zjawisk. Przecież kiełkowanie zarodników grzybów chorobotwórczych pod nieobecność ich roślin żywicielskich może być równoznaczne z pełną ochroną tych roślin w następnych latach. Na podobnych zresztą zjawiskach opierają się zalecenia zwalczania niektórych szkodliwych nicieni za pomocą roślin pułapkowych czy „wrogich”. Można by również przytoczyć wiele przykładów niewłaściwie, z punktu widzenia potrzeb ochrony roślin, dobranych terminów siewu czy sprzętu. Nieznaczna niekiedy korektura może wpłynąć na charakter wystąpienia i liczebność szkodliwych i pożytecznych organizmów. To samo dotyczy niektórych zabiegów mechanicznej uprawy gleby. Stwierdzono również, że nawożenie mineralne może być w niektórych przypadkach korzystne a w innych niekorzystne z punktu widzenia zdrowotności roślin.

Poruszone sprawy nie wyczerpują problemu. Czy takie czynniki jak kształt i wielkość pól są zupełnie obojętne z punktu widzenia potrzeb ochrony roślin przed szkodnikami i chorobami? Czy tempo i stopień opanowania pola przez danego szkodnika, czy chorobę nie zmieniają się w zależności od tych czynników? A jaką rolę odgrywa sąsiedztwo upraw? Można by takich pytań postawić więcej. Wielkość i kształt pól oraz sąsiedztwo upraw zależą od różnych układów natury socjalnej i ekonomicznej. Nie zadano sobie jednak dotychczas trudu, by zbadać, jakie jest znaczenie tych czynników z punktu widzenia potrzeb ochrony roślin. To samo dotyczy wielu innych czynników.

Przejdźmy do sprawy konsekwencji chemizacji rolnictwa w ramach zabiegów ochrony roślin. Ta sprawa jest ostatnio bardzo często przedmiotem rozważań. Ograniczę się więc tylko do jednego stwierdzenia. Choć brzmi to paradoksalnie, zabiegi chemiczne polepszają biologiczną i ekologiczną sytuację gatunków szkodliwych dla roślin. Są one czynnikiem selekcji populacyjnej, eliminującej osobniki wrażliwe i gorzej przystosowane do znoszenia niedogodnych warunków egzystencji oraz selekcji biocenotycznej, eliminującej ich wrogów naturalnych. Gdybyśmy dziś zaprzestali wszelkich zabiegów chemicznych na kilka lat, procent strat wywoływanych przez choroby i szkodniki roślin okazałby się bez porównania wyższy niż przed 100 laty, gdy ochrona roślin praktycznie nie istniała. Tak więc i na tym odcinku naszej działalności w rolnictwie popełniamy błędy, wynikające z oparcia się na jednostronnych doświadczeniach. Dlatego też chemiczne zabiegi ochrony roślin obok niewątpliwych korzyści przynoszą również ujemne konsekwencje.

Struktura agroekosystemów i nasza działalność związana z uprawą gleby i roślin kryją liczne błędy, odbijające się rzecz jasna na wielkości i jakości produkcji roślinnej. Trudno byłoby ująć te sprawy liczbowo. Należy jednak zdać sobie sprawę z rzędu wielkości strat, jakie ponosi rolnictwo z tego powodu, gdyż od tego zależy sens ewentualnego przeciwdziałania. Moim zdaniem straty wynikające z błędów w strukturze agroekosystemów i w zabiegach uprawowych obejmują co najmniej 3% plonów, a prawdopodobnie sięgają 5-6%. Zdaję sobie sprawę z tego, że to bardzo niewiele w porównaniu z liczbami obrazującymi niedobory naszej produkcji roślinnej w stosunku do produkcji w krajach o wysokiej kulturze rolnej. Nie znaczy to jednak, by należało zrezygnować z próby likwidacji omówionych przeze mnie błędów. Tym bardziej, że korzyści mogą okazać się znacznie większe, niż by to wynikało z suchych liczb. Gdyby udało się nam przekształcić strukturę agroekosystemów w oparciu o racjonalne modele oraz zmodyfikować niektóre metody uprawowe polepszyłby się stan zdrowotności roślin uprawnych, co oznaczałoby nie tylko zwiększenie plonów, ale i możliwość pewnego ograniczenia zabiegów chemicznych ochrony roślin, a co za tym idzie — zmniejszenie różnych niekorzystnych ich konsekwencji.

Wydaje się więc, że podjęcie badań zmierzających do wypracowania racjonalnych modeli agroekosystemów jest jak najbardziej celowe. Spróbuję obecnie przedstawić program takich badań. Pominę sprawę optymalizacji metod związanych z uprawą, gdyż badania w tym zakresie (w szczególności badania nad wpływem zabiegów chemicznych, nawożenia i płodozmianów na agrocenozy) są zaplanowane i już skutecznie prowadzone. Badania nad strukturalnymi modelami agroekosystemów kryją o wiele większe trudności. Z trudnościami tymi Zakład, który reprezentuję, boryka się już od wielu lat. Przedyskutowano wiele projektów, próbowano niektóre z nich realizować, nie uzyskano jednak wyników, które można by zastosować w praktyce.

Najwłaściwszą drogą byłoby założenie gigantycznych doświadczeń, których zasadniczym obiektem byłyby duże kompleksy rolne (np. PGR-y odpowiednio zagospodarowane). Aby uwzględnić cały zespół interesujących nas czynników, trzeba by dysponować co najmniej kilkuset takimi obiektami. Jest to oczywiście

nierealne i dlatego proponuję zamiast eksperymentów drogę obserwacji. Dałem wyżej szereg przykładów strukturalnych i funkcjonalnych elementów agroekosystemów nie obojętnych z punktu widzenia potrzeb ochrony roślin. Jest ich oczywiście więcej. Elementy te tworzą aktualnie najrozmaitsze układy na terenie całego kraju. W poszczególnych kompleksach rolnych reprezentowane są one w najrozmaitszej formie. Jeśli dokonamy wyboru tych elementów i dokonamy odpowiedniej ich klasyfikacji uwzględniając oznaczenia cyfrowe lub literowe, będziemy mogli charakteryzować poszczególne kompleksy oznaczając każdy z nich odpowiednim kodem. Tak więc scharakteryzujemy je cyframi i literami wyrażającymi średnią wielkość pól, chemiczną i fizyczną strukturę gleby, typ płodozmianu, zużycie pestycydów i nawozów mineralnych, udział dzikiej roślinności, nasilenie najważniejszych chorób i szkodników i wreszcie wielkość plonu. Jeśli obserwacje i zapisy dokonane zostaną na licznych kompleksach rolnych w różnych rejonach kraju, otrzymamy ogromny materiał, którego opracowanie wymagać będzie współdziałania matematyków i ich maszyn. Wydaje mi się, że jest to jedyna realna droga by uzyskać odpowiedź na pytanie, jakie są najlepsze z punktu widzenia potrzeb produkcji i zdrowotności roślin modele struktury przestrzennej i czasowej kompleksów rolnych w różnych rejonach geograficznych, klimatycznych czy rolniczych kraju.

Cały program przedstawiłem tu z dużym uproszczeniem. Poważny problem stanowić będzie już samo wytypowanie kompleksów rolnych, ich wielkości, ich granic. Konieczna tu będzie współpraca rolników, ekologów i geografów — specjalistów od zagadnień gospodarki krajobrazowej. Dużą trudność stanowić będzie dobór czynników charakteryzujących kompleksy rolne oraz klasyfikacja poszczególnych czynników w granicach ich zmienności. Sprawa ta wymagać będzie zespołowego opracowania. Wreszcie problem organizacji badań terenowych. Widzę tu udział zespołów studenckich, współpracę służby ochrony roślin oraz poważne zaangażowanie pewnej liczby młodych pracowników nauki, głównie botaników i entomologów. Mogłaby to być grupa doktorantów, których promotorzy tworzyłiby zespół specjalistów odpowiedzialnych na całość badań, a w szczególności za stronę metodyczną.

To co przedstawiłem, to tylko przykład rozwiązania organizacyjnego, daleki zresztą od precyzji. Możliwości są różne. Całe zamierzenie można zrealizować przy niewielkim nakładzie pieniężnym i w krótkim stosunkowo czasie. Wystarczą tu trzyletnie badania, które zresztą będzie można wzbogacić o historię odpowiednio dobranych obiektów badań. Ryzyko niepowodzenia jest niewielkie. Nie ulega dla mnie kwestii, że zebrany w taki sposób materiał pozwoli na wyciągnięcie całego szeregu wniosków interesujących z ogólnopoznawczego punktu widzenia. Gdyby nawet wartość praktyczna tych wniosków okazała się zbyt mała, wysiłek badawczy nie będzie zmarnowany. Osobiście jestem głęboko przekonany, że i ta obawa okaże się płonna.

Г. Санднер

МОДЕЛИРОВАНИЕ АГРОЭКОСИСТЕМ

Резюме

Хозяйственные потери вызываемые вредителями растений связаны в первую очередь с тем фактором, что агроценозы являются ненасыщенными а следовательно нестабильными системами. Регуляционные возможности агроценозов очень ограничены, вследствие чего наблюдаются значительные колебания в численности фитофагов. Характерным свойством такого рода ненасыщенных систем является тенденция к обогащению их состава, которая привела бы с временем к их стабилизации. Эта тенденция в случае агроценозов противоречит основным требованиям сельского хозяйства. Как кажется, однако, можно было, не отказываясь от основных требований, допустить или в известной степени помочь осуществлению этой тенденции. Возможности нашего действия касаются пространственной и временной структуры агроэкоцистем. Эта структура образовывалась до сих пор с точки зрения производительности и экономичности растениеводства, однако на основании довольно односторонних опытов. Эти опыты не учитывали напр. косвенного влияния разных факторов на структуру агроценозов, а тем самым на здоровое состояние и производительность культурных растений. Это касается в первую очередь таких факторов, как величина и форма полей, их соседство, облесение, полезащитные насаждения и другие энклавы дикорастущих растений. Однако, можно принять, что нет таких факторов, которые не оказывали бы никакого влияния на видовую структуру агроценозов, а также на разные явления обуславливающие деятельность вредителей и патогенов растений. Как кажется, путем усовершенствования пространственной и временной структуры агроэкоцистем можно бы было снизить потери вызываемые вредителями и болезнями на 3-6%. Усовершенствование структуры возможно на базе конкретных моделей, которые следует разработать. Ввиду большого числа факторов этой структуры проведение соответствующих опытов практически невозможно. Существует, однако, другой способ, который автор пытается здесь представить. В стране с такой расчлененной структурой сельского хозяйства существует громадное число систем этих факторов. Эти системы можно регистрировать при применении соответствующих числовых обозначений. Регистрация каждой системы должна быть дополнена данными о здоровое состояние и урожайности отдельных культур, также кодированных соответствующим образом. Располагая значительным количеством такого рода регистраций можно пытаться упорядочить системы с точки зрения их влияния на здоровое состояние и производительность культурных растений. Такое упорядочение будет возможным при сотрудничестве с математиками и применении электронно-вычислительной техники. Таким образом можно получить точные указания позволяющие закладку конкретных опытов, которые бы позволили разработать оптимальные модели для отдельных районов страны.

H. Sander

MODELLING OF AGROECOSYSTEMS

Summary

Economic losses caused by pests are connected, first of all, with the fact that agrocenosis constitute unsaturated, and consequently unstable systems. Possibilities of regulation of the agrocenosis are very limited. It results in considerable fluctuations of phytophaga quantities. A charac-

teristic feature of such unsaturated systems is the tendency to enrichment of their composition, which would lead in the course of time to their stability. This tendency in the case of agrocenosis is in conflict with the principal requirements of agriculture. It seems, however, that it would be possible, without omission of basic principles, to admit or assist the realization of the above tendency. Possibilities of our activities concern spatial and time structure of ecosystems. This structure was formed hitherto under the viewpoint of magnitude and economy of crop production; however, it was based on rather one-sided experiments. In them, among other things, an indirect effect of various factors on the agrocenotic structure, and consequently on health and productivity of crops, was not considered. It concerns particularly such factors, as size and form of fields, their vicinity, afforestation and wood belts among fields as well as other enclaves of wild vegetation. However, it can be assumed that there are no factors in agroecosystems which would not exert any influence on specific structure of agrocenosis and on different phenomena, on which depends the activity of pests and also of pathogens of crops. It seems that after improvement of spatial and time structure of agroecosystems, the losses caused by pests and diseases of plants could be reduced by 3-6%. The improvement of structure would be possible on the basis of concrete models to be worked out. In view of a great number of factors of the above structure, carrying out adequate experiments would be practically impossible. There exists, however, another way, which the author will try to present here. In the country with considerable structure differentiation of agriculture very many arrangements of systems of the above factors exist. These systems can be recorded at application of adequate numerical denotations. The record of each system must be supplemented with the data concerning health and yielding of particular crops, also with adequate coding. While disposing of great number of such recordings, one can try to put them in order under viewpoint of their effect on health and productivity of crops. Such putting in order will be possible at cooperation with mathematicians and computers. In such a way definite guidelines will be obtained, enabling the establishment of concrete experiments, which would facilitate working out optimal models for particular country regions.