

В.М. Янчук, аспір.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ: ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПИСУ НАЗЕМНИХ ЕКОСИСТЕМ, ҐРУНТІВ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТОВИХ ПРОЦЕСІВ

(Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент Колодницький М.М.)

Наведено основні параметри, що використовуються при побудові інформаційної системи для формалізації описів ґрунтових екосистем та процесів, що в них відбуваються. Описано проблематику математичного моделювання ґрунтових екосистем при дослідженні процесів ґрунтоутворення, самоорганізації ґрунтових структур, седиментологічних процесів, процесів забруднення та деградації ґрунтових структур тощо.

Останнім часом, моделювання стало одним з найпоширеніших методів наукового пізнання. В ґрунтознавстві моделювання ґрунтових процесів та екосистем широко застосовується в процесі ряду досліджень, незважаючи на певну специфіку предметної області. На сьогодні в ґрунтознавстві існує цілий ряд класифікацій, які по-різному підходять до опису ґрунтових структур. Таке становище, в свою чергу, ускладнює побудову чіткої ієрархії математичних моделей, яку можна було б зв'язати з певними характеристиками ґрунтів. Тому фахівці будують свої математичні моделі, вказуючи класифікацію, якою вони користувались в процесі побудови математичної моделі [9].

Метою даної статті є виділення та систематизація задач та формалізованих описів процесів, що відбуваються в наземних екосистемах, педосфері та літосфері. Розглянувши зв'язки між геосферами (рис. 1), можна сказати, що при розгляді педосфери увагу зосереджують на ґрунті, який розглядається одночасно і як складна екосистема, і як середовище, тобто як комплекс умов, які впливають на життєдіяльність біологічної одиниці.

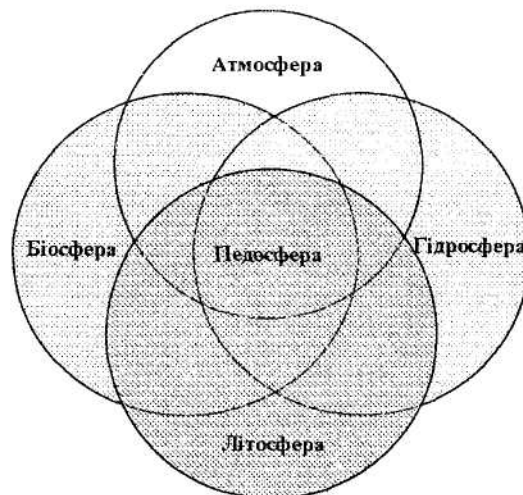


Рис. 1. Зв'язки між педосферою, атмосферою, гідросферою, літосферою та біосферою

Розглядаючи моделі в ґрунтознавстві та седиментології, їх можна класифікувати за наступними ознаками:

- моделі формування рельєфу;
- моделі осадонакопичення;
- ґрунтоутворення;
- продуктивності (урожайності);
- деградації ґрунтових структур;
- самоорганізації ґрунтових структур;
- екосистеми ґрунту.

Розгляд літосфери поєднують з розглядом земної кори, де виділяють окремо розгляд особливостей рельєфу, гірських порід, процесів, що безпосередньо впливають на формування рельєфу. Розглядаючи рельєф, можна сказати, що дослідження його властивостей здійснюється через вивчення генезису рельєфу:

Рельєф = {макрорельєф (рівнини, гори, плато), мезорельєф (долини, тераси, пагорби), мікрорельєф (коливання висот в межах одного метра)}.

Вид рельєфу зумовлюється тектонічними властивостями (tk_i), кліматичними умовами (температурою (tm), вологістю (h)); експозицією та крутизною схилу (a), віком (t):

Relief formation = $\{tk_i, tm, h, a, t, R\}$,

де R – відношення між компонентами, що впливають на формування рельєфу.

Також в рамках літосферних процесів розглядають седиментологічні та літологічні процеси, незважаючи на той факт, що ці процесів пов'язані з осадо накопиченням не тільки на суші, а й у океані.

Фізична седиментологія розглядає процеси осадо накопичення як результат взаємодії середовища, що характеризується цілком визначеними фізичними та механічними ознаками, з тілами – зернами, що рухаються в ній та формують фракційну структуру осаду, шари та седиментаційні цикли.

Так до задач фізичної седиментології відносять вирішення наступних питань:

- встановлення зв'язку гранулометричного складу порід з гідродинамікою середовища седиментації;
- розробка теорії переносу осаду однонаправленими водними потоками;
- моделювання в лотках та шляхом натурних експериментів різного виду розподілу по шарах;
- вивчення осадкового розсортування в береговій зоні;
- розробка моделей циклічної седиментації;
- тектоніка літосферних плит: гіпотеза субдукції.

При постановці задачі фізичної седиментології часто вважається, що в кожному конкретному випадку відомі закони руху середовища (наприклад, однонаправлений водний потік з турбулентним спектром швидкостей), які описуються відповідними рівняннями, запозиченими з гідромеханіки, а також фіксовані фізичні характеристики частинок, що знаходяться в активній контактній зоні.

Таким чином можна вирішити задачі не тільки кількісного опису закономірностей седиментогенезу як функції від гідродинамічних параметрів водного середовища, але і від тих, що дають можливість встановити ці параметри за морфологічними та структурними характеристиками вже утвореного осаду.

Розглядаючи ґрунтовий покрив, звернемо увагу на те, що ґрунт є ланкою взаємодії літосфери і атмосфери, так само як морське або річкове дно – між літосферою та гідросферою. В системі “ґрунт – атмосфера” він виступає як генератор певних газів в атмосферу, а з іншого боку є поверхнею, на яку випадають та осідають речовини, що надходять з атмосфери [13, 18].

Основними ознаками при класифікації наземних екосистем є *вид ґрунту* та *географічне положення, біофізичні групи*. Як відомо, при описі наземних екосистем найголовнішу роль відводять ґрунту.

У другій половині XIX століття група науковців під керівництвом Докучаєва, а пізніше, у 1941 році американський вчений Ганс Дженні побудували залежність властивостей ґрунту від факторів ґрунтоутворення [26, 35, 37]:

Soil forming factors = $\{c, v, pm, r, o, t, R\}$,

де c – кліматичний фактор (включає в себе опади та температуру);

v – рослинність (види рослин в специфічній екосоні);

pm – материнська порода (геологічні чи органогенні джерела формування ґрунту);

r – рельєф місцевості (топографія);

o – органіка ґрунту (мікроорганізми та тварини, що мешкають на даній ділянці);

t – період часу;

R – відношення між компонентами ґрунтоутворення.

Розглянемо більш детально основні екологічні фактори, що впливають на процес формування ґрунту:

вивітрювання (c_i) = {фізичне (механічне роздроблення; під дією води та температури, вітру);
хімічне (солі, вуглекислий газ, окиснення);
біологічне (активність організмів, що живуть у ґрунті)};

вид материнської породи (pt_i) = {магматична, метаморфічна, осадова};
газообмін (аерація) (g_i);
мінералогічний склад ґрунту (n_i), механічний склад ґрунту (mc_i).

Ці фактори задають вид ґрунту, вміст поживних речовин та зумовлюють фізико-хімічні характеристики ґрунту = {пластичність, клейкість, набухання, зв'язність, твердість, питомий опір, водопроникність, проникність повітря}. Фізико-хімічні властивості, в свою чергу, залежать від структури та щільності ґрунту [4, 10, 18]:

Physical properties = { o_i , s , tg , pr },

де o_i – органіка ґрунту;

s – структура ґрунту = {кубовидна, призмівидна, плитовидна};

tg – щільність ґрунту = {дуже щільні, щільні, рихлі, розсипчасті};

pr – пористість ґрунту = {тонкопористі, пористі, губчасті, дірчасті, комірчасті, трубчасті, трищинуваті}.

Від структури та геотопографічного положення ґрунту залежать змитість, дефльованість, засоленість, оглеєння, намитість ґрунту, глибина торфового шару.

Таблиця 1

Вплив структури ґрунту на хімічні та біологічні ґрунтові процеси

Фізичні процеси	Цикл поживних речовин (окремо цикл вуглецю)
Ерозія	Залуження (зміна вмісту)
Поверхневий стік води	Вивітрювання та вимивання поживних речовин (кореневий цикл)
Інфільтрація	Іонний обмін (кореневі виділення)
Гідралічна проникненість	Рух газів (мікробний цикл)
Висока водна проникненість	Мінералізація (розклад)
Аерація	Уповільнення (дихання, гуміфікація, накопичення органічної речовини)

Хімічний склад ґрунту містить близько 80 елементів. Серед них: ${}^1\text{H}$, ${}^5\text{B}$, ${}^6\text{C}$, ${}^7\text{N}$, ${}^8\text{O}$, ${}^9\text{F}$, ${}^{11}\text{Na}$, ${}^{12}\text{Mg}$, ${}^{13}\text{Al}$, ${}^{14}\text{Si}$, ${}^{15}\text{P}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{17}\text{Cl}$, ${}^{19}\text{K}$, ${}^{20}\text{Ca}$, ${}^{22}\text{Ti}$, ${}^{25}\text{Mn}$, ${}^{26}\text{Fe}$, ${}^{27}\text{Co}$, ${}^{29}\text{Cu}$, ${}^{30}\text{Zn}$, ${}^{42}\text{Mo}$, ${}^{56}\text{Ba}$.

Вид ґрунту також залежить від життєдіяльності рослинних угруповань. Рорізнюють наступні рослинні співтовариства = {арктичні тундри, сосняки південної тайги, ялинники південної тайги, березняки, сфагнові болота лісові, дубрави, лувинні степи, сухі степи, напівкущові пустелі, сухі савани, субтропічні листові ліси}, що населяють екологічні зони = {тундру, тайгу, пустелю, степи, савани, луки, рідколісся, ліси (сухі та вологі), болота та болотисті місцевості, прибережні області, гірські, сільськогосподарські угіддя} [30].

За біофізичними групами ґрунту поділяються на тайгово-лісові, буроземно-лісові, лісостепові, сухостепові, напівпустельні, пустельні, напівпустельні субтропічні, чагарниково-степові, ксерофітно-лісові, волого-лісові, субтропічні [29, 36].

Отже,

фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту = {Температура (tm_i) (теплопоглинальні властивості ґрунту, альbedo – кількість короткохвильової сонячної радіації, відбитої поверхнею ґрунту та вираженої у відсотковому відношенні від загальної величини сонячної радіації, що досягає поверхні ґрунту; теплоємність; теплопровідність); вологість ґрунту (h) (кристалізаційна, тверда волога (hm_i), пар, сильно та рихло зв'язана волога, вільна волога, ємкість вбирання, водопроникненість); рН (ac); лужність (al); гумусний стан (hm) (глибина гумусного горизонту, загальний вміст гумусу); вміст хімічних елементів (ec) (пестицидів, нітратів, важких металів), рухомих форм фосфору, калію, важких металів; глибина залягання ґрунтових вод (wd); поглинальна властивість ґрунтів (gp) (механічна, фізична, фізико-хімічна)}.

Гумусний стан залежить від біологічних властивостей ґрунту, оскільки є продуктом життєдіяльності рослин та тварин, що населяють територію. Процеси, пов'язані зі зміною гумусного стану, досліджувалися в моделі зміни вмісту гумусу в зональних типах ґрунтів, моделі процесу елювіально-ілювіальної диференціації профілю ґрунту та кори вивітрювання в кислих умовах [14, 15, 19, 20, 21, 27, 32, 33].

Нижче, як приклад, наводиться модель кругообігу оксиду вуглецю в системі фітоценоз-гумусові речовини, яка є системою чотирьох диференціальних рівнянь і описує балансний тип кругообігу вуглецю в екосистемі [12]:

$$\begin{aligned}\frac{dx_2}{dt} &= K_{32}x_3 - K_2x_2 + C_d; \\ \frac{d(x_1 + x_2)}{dt} &= (K_{31} + K_{32}) \cdot x_3 - K_1x_1 - K_2x_2 + C_r; \\ \frac{dx_3}{dt} &= P_0k_0 \frac{x_1 + x_2}{A_r + x_1 + x_2} - (K_3 + K_{31} + K_{32}) \cdot x_3,\end{aligned}$$

де x_1 , x_2 , x_3 – відповідно вуглець гумусових речовин, детритної частини гумусу і мортмаси ґрунту;

$x_r = x_1 + x_2$ – вуглець гумусу;

K_1 , K_2 , K_3 – коефіцієнт мінералізації відповідно гумусових речовин детритної частини гумусу, мортмаси;

P_0 – продуктивність фотосинтезу;

k_0 – частка органічної продукції, яка щороку включається в деструктивний цикл;

$C_{d,r}$ – сума швидкостей відповідно абіотичного надходження та винесення органічного вуглецю, детритної частини гумусу і вуглецю гумусу;

A_d , A_r – константи Міхаеліса – параметри, що дорівнюють запасу вуглецю гумусу ґрунту, при якому досягається $P_0/2$;

K_{21} – коефіцієнт гуміфікації детритної частини гумусу в гумусовій речовині;

K_{31} – коефіцієнт гуміфікації мортмаси в гумусовій речовині;

K_{32} – коефіцієнт гуміфікації мортмаси в детритну частину гумусу;

$K_{31} + K_{32}$ – загальний коефіцієнт гуміфікації мортмаси;

$K_3 + K_{31} + K_{32}$ – коефіцієнт розкладання мортмаси.

Останнє рівняння побудоване на основі кількісного опису процесів (рівняння Міхаеліса–Ментен), і часто використовують наступний його запис:

$$\frac{dx_3}{dt} = P_0k_0 \frac{x_2}{A_d + x_2} - (K_3 + K_{31} + K_{32}) \cdot x_3.$$

Моделі загальної седиментології переважно концептуальні і стосуються фіксації подібних властивостей різних умов седиментації та джерел осадового матеріалу. Кінцевою метою такого підходу є побудова седиментаційної моделі Землі.

Для фізичної седиментології характерні більш локальні моделі, націлені на опис фізичного боку седиментогенезу. Достатньо сказати, що в термінах фізичної седиментології можна аналітично оцінити закони осадження часток різної крупності, з різними морфометричними характеристиками; можна вивчити зв'язок структурних та текстурних характеристик осаду з особливостями циркуляції водних потоків, як з постійним в часі режимом руху (руслові потоки та придонні течії), так і з нестійким (щільнісні та так звані ефемерні потоки); можна дати оцінку глибин та основних гідродинамічних характеристик басейну седиментації за морфологією текстур осаду; для стійких в часі палеопотоків можна з певним ступенем надійності реконструювати їх швидкісні характеристики, користуючись даними фракційного складу алювіального (наносного) осаду. Зазначимо, що ці моделі описуються рівняннями дифузії та імовірнісними моделями.

Як окремий вид моделей в ґрунтах виділяють моделі родючості, які, в свою чергу, поділяються на моделі опису стану родючості, ґрунтових процесів та моделі управління родючістю. До моделей опису стану родючості відносяться потоково-балансові моделі стаціонарної системи "ґрунт – рослина – навколишнє середовище", моделі біологічних процесів, моделі ґрунтово-екологічних процесів, моделі продуктивності та якості продукції (рис. 2).

Моделі прогнозування врожаїв базуються на врахуванні агрокліматичних ресурсів регіону, використовують комплексні показники біокліматичних та гідротермічних потенціалів продуктивності [27, 34]. До іншого типу відносяться моделі управління біологічними процесами, моделі оптимізації розміщення культур [5, 7, 8, 11, 13, 25, 27], модель багаторічних циклів продуктивності агроценозів (часові ряди [26]), універсальна модель втрат ґрунту USLE, модель солевого режиму червоних ферсалітних ґрунтів [1, 2, 3, 6, 7, 10, 13, 14, 24, 27, 28].

Можна побачити, що процеси в ґрунтових екосистемах описуються за допомогою імовірнісних моделей, статистичних моделей – регресійних рівнянь та часових рядів, звичайних диференціальних рівнянь, систем звичайних диференціальних рівнянь, диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Дані моделі були реалізовані в спеціалізованих програмних пакетах Polmod, SIMS, пакетах, побудованих на базі систем SLAM II, GPSS, DINAMO [23, 27].

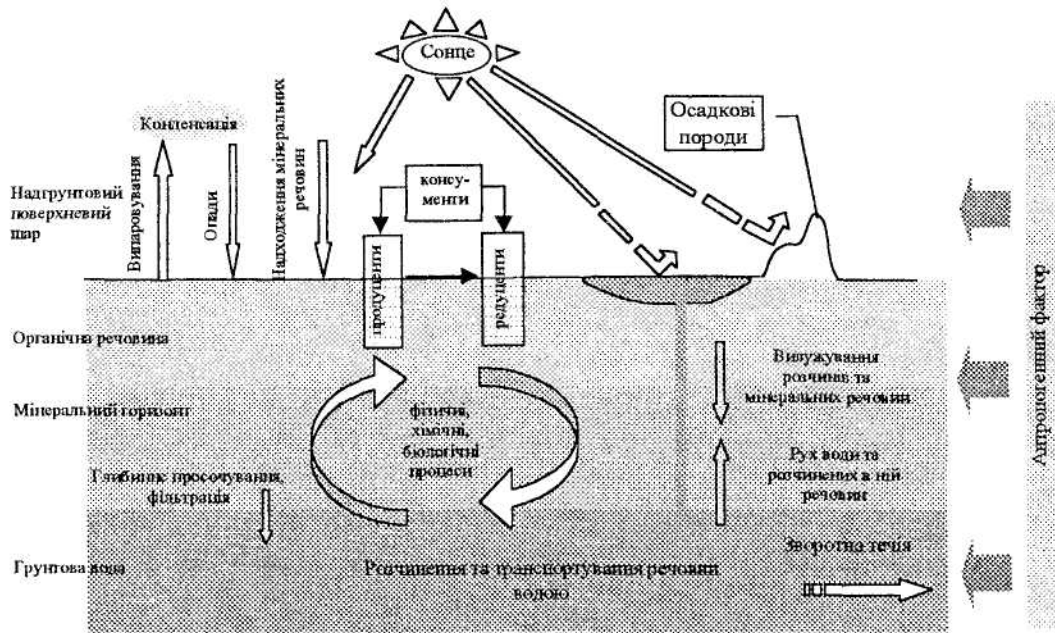


Рис. 2. Схема зв'язків факторів в моделях продуктивності ґрунтових екосистем

Математичне моделювання в природничих науках використовує математичний апарат, реалізований в ряді математичних та статистичних прикладних пакетів та геоінформаційних систем (ГІС). Вони останнім часом стали досить поширеними в дослідженнях екологічних систем. Найбільшого поширення набули наступні ГІС: ARC/INFO, pMAP, IDIRSI, TERRASOFT, RAMAP, SICAD, MapInfo [23, 27, 31, 32].

Антропогенний вплив на наземні екосистеми. До факторів негативного впливу на наземні екосистеми можна віднести техногенне та радіаційне забруднення, дегуміфікацію, агрофізичну та ерозійну деградацію [16, 17, 22, 24]. Основні види забруднювачів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Антропогенний вплив на ґрунти

Наслідки впливу на літосферу	Забруднювачі
Окислення ґрунту (сполуками сірки)	$SO_2, SO_3, H_2SO_4, FeS, H_2S$
Залуження ґрунту (вапняковий та доломітовий пил, сполуки соди)	$Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+$
Засолення ґрунту (содовими солями)	$NaCl, NaSO_4, NaCO_3$
Токсичність ґрунту	$Zn, Pb, Cu, As, F, Ba, Hg$ тощо
Забруднення нафтопродуктами	Продукти переробки нафти, полімери
Радіоактивне забруднення	Забруднення поверхні ґрунту радіонуклідами
Дегуміфікація та ерозійна деградація	Зменшення кількості рослинних решток, аерація, осушення, водна та вітрова ерозія, неправильна обробка ґрунту

Для прикладу розглянемо моделювання радіоактивного забруднення в наземних екосистемах. Часто при моделюванні радіоактивного забруднення в наземних екосистемах описують міграцію радіонуклідів в трофічних ланцюгах. Моделювання вертикальної міграції радіонуклідів знаходиться на першому етапі дослідження забрудненості наземної екосистеми. Такі моделі базуються на рівнянні конвективно-дифузійного переносу:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 q}{\partial h^2} - V \frac{\partial q}{\partial h},$$

де D – коефіцієнт дифузії;
 V – коефіцієнт конвекції (конвективна швидкість);
 h – глибина;
 q – функція-гаусіан:

$$q(t, h) = \frac{1}{\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{(h-Vt)^2}{4Dt}}, \text{ де } t - \text{ час.}$$

Таблиця 3

Основні форми ґрунтової деградації (у відсотковому співвідношенні від загального рівня)

Вид деградації ґрунту	Співвідношення деградованої площі (%)
Втрата верхнього шару ґрунту (Loss of topsoil)	70
Деформація території (Terrain deformation)	13,0
Зменшення поживних речовин (Loss of nutrients)	6,9
Засолення (Salinization)	3,9
Стискування (Compaction)	3,5
Забруднення (Pollution)	1,1
Видування (Overblowing)	0,6
Заболочення, підтоплення (Waterlogging)	0,5
Закислення (Acidification)	0,3
Просідання ґрунту (Subsidence)	0,2

За допомогою цієї моделі досліджувалися міграції наступних радіонуклідів: ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{95}Zn , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{110}Ag , ^{152}Eu . Враховувалися також швидкість переміщення медіани розподілу радіонукліда в ґрунті та форма розподілу [8, 11, 26, 34].

В конвективно-дифузійних моделях можна окремо враховувати механізми дифузії та переносу радіонуклідів з потоком вологи, розрахунок температурних полів у ґрунтовій масі [27].

Дані моделі використовувались для дослідження міграцій радіонуклідів та інших забруднювачів в ґрунтових екосистемах, дослідження втрат ґрунту через сільськогосподарське використання. В програмних пакетах були реалізовані наступні моделі: FORESTPATH, ECORAD, FORESTLIFE, FOA, RIFE, FORESTLIFE, FORESTLAND, USLE, WEPP, CREAMS [27, 34].

ЛІТЕРАТУРА:

1. Айдаров И.П. Экологические проблемы ямелиорации засоленных земель // Почвоведение. – 1995. – № 1. – С. 93–99.
2. Алиев Т.А., Новиков В.Н., Найда А.И. Автоматизированная система управления уровнем грунтовых вод на осушительно-увлажнительных системах // Вестник РАСХН. – 1996. – № 5. – С. 47–50.
3. Булгаков В.М., Шелудченко Б.А. Самоорганизация грунтовых структур. – К.: Видавництво НАУ, 1998. – 58 с.
4. Зейлигер А.М., Тамари С. Способы формального представления гидрофизических характеристик водоудерживания и влагопроводности почв // Почвоведение. – 1995. – № 2. – С. 192–199.
5. Иванова Т.М. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.
6. Икконен Е.Н., Толстогузов О.Н. Диффузия углекислого газа в торфяной почве верхнего болота // Почвоведение. – 1996. – № 7. – С. 868–872.
7. Искандарян Р.А. Прогнозирование продуктивности агроценозов с использованием банков данных полевых опытов // Международная конференция студентов и аспирантов по фундаментальным наукам "Ломоносов 98". Тезисы докладов. Почвоведение. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – С. 34–35.
8. Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1989. – 318 с.
9. Колодницький М.М., Янчук В.М. Системний аналіз задач математичного моделювання в науках про навколишнє середовище (у друці).
10. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 219 с.
11. Литвак Ш.И. Системный подход к агрохимическим исследованиям. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.
12. Надточий П.П., Вольвач Ф.В. Модель круговорота углерода и критерии устойчивости системы, фитоценоз-гумусовые вещества почвы // Доклады АН Украины. – 1993. – № 8. – С. 165–171.
13. Надточий П.П., Гермашенко В.Г., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту та його забруднення. – К.: «Аграрна наука», 1998. – 286 с.
14. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
15. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М.: Наука, 1996. – 244 с.

16. Пачепский Я.А. Математические модели процессов в мелиорируемых почвах. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 85 с.
17. Пачепский Я.А. Математические модели физико-химических процессов в почвах. – М.: Наука, 1992. – 120 с.
18. Рожков В.А. Почвенная информатика. – М.: Агропромиздат, 1989. – 221 с.
19. Романовский С.И. Физическая сидерология. – Л.: Недра, 1988. – 240 с.
20. Рыжова И.М. Анализ гумусонакопления в зональных природных экосистемах на основе нелинейной модели // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 191, № 1. – С. 25–33.
21. Рыжова И.М. Анализ чувствительности системы почва – растительность к изменениям параметров круговорота углерода на основе математической модели // Почвоведение. – 1993. – № 10. – С. 52–56.
22. Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А. – М.: Экология, 1992. – 45 с.
23. Совместный научный проект ЕСР-9 «Переход радионуклидов в организм животных, их сравнительное значение в различных сельскохозяйственных экосистемах и соответствующие контрмеры». – Европейская комиссия. – Брюссель, 1996. – 224 с.
24. Стотланд Д.М. Математическое моделирование влажностного режима в оттаивающих почвах и торфяниках // Почвоведение. – 1996. – № 9. – С. 1124–1133.
25. Стребков И.М., Кирикой Я.Т., Халанская Т.П. Методическое руководство по использованию принципов системного подхода в агрохимических исследованиях действия удобрений. – М., 1988. – 70 с.
26. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 206 с.
27. Хомяков Д.М., Искандарян Р.А. Информационные технологии и математическое моделирование в задачах природопользования. www.halyava.ru/agronomy/MODEL.html.
28. Buol S.W., Hole F.D., and McCracken R.J. 1989. Soil Genesis and Classification. Third Edition. Iowa State University Press, Ames, USA.
29. Butcher S., Charson R., Orians G., Wolfe G. Global Biogeochemical Cycles. – Pub. by Academic Press, Inc., 1992. – 379 p.
30. Eugen Odum. Fundamentals of Ecology. W.B. Saunders Company. – Philadelphia – London – Toronto, 1971.
31. EUR 13231 – Corine biotopes – The design, compilation and use of an inventory of sites of major importance for nature conservation in the European Community. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities. – 1991. – 132 p.
32. ISRIC/UNEP (1991): World map of the status of human-induced soil degradation (by L.R. Oldeman, R.T.A. Hakkeling and W.G.Sombroek). Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), 2nd revised edition. Wageningen/Nairobi.
33. Jastrow, J.D. and Miller R.M. 1991. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. Agric. Ecosystems Environ., 34:279–303.
34. Linkov I., Schell W.R. (eds.) Contaminated forests. Recent Developments in Risk Identification and Future Perspectives. Kluwer Academic Publishers, 1999. – PP. 151–160.
35. Noorallah G. Juma. The Pedosphere and its dynamics. A system approach to a soil science. Vol. 1: Introduction to Soil Science and Soil Resources. – Salman Productions www.pedosphere.com.
36. Paul Colinvaux Ecology 2. – Pub. by John Willey & Sons, Inc. – 1986, 1993. – 668 p.
37. Rowell D.L. Soil Science: Methods and Applications. Addison Wesley Longman, Essex, England, 1994.

ЯНЧУК Валентин Миколайович – аспірант кафедри “Програмного забезпечення обчислювальної техніки” Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання наслідків радіоактивного забруднення навколишнього середовища;
- імовірнісні моделі;
- інформаційні системи та бази даних.

Подано 12.01.2000.