

# СТОРІНКА МОЛОДОГО ВЧЕНОГО

УДК 631.44500.1

**З.К. Сасюк**  
аспірант

**В.С. Мошинський**  
к.т.н, доцент

Український державний університет водного  
господарства та природокористування, м.Рівне

## МАТЕМАТИЧНО-СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ОСУШУВАНИХ ҐРУНТІВ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*У статті приведені емпіричні моделі станів осушуваних ґрунтів за окремими агрохімічними показниками на стаціонарах еталонних осушувальних систем Рівненської області. Проведена оцінка адекватності моделей і критерії відбору оптимальних моделей.*

Меліоровані землі гумідної зони, які розташовані в межах Українського Полісся та заплавах малих і середніх річок лісостепової зони Рівненської області, характеризуються складними природними умовами, а саме: несприятливий водний режим, нестійкі температурні умови, незбалансований поживний режим. Осушення і освоєння, як засоби оперативного регулювання ґрунтових умов осушуваних земель, формують ґрунти з новими водно-фізичними, агрохімічними і мікробіологічними ознаками, які потребують комплексних спостережень, постійного контролю і якісної оцінки.

На жаль, через складні економічні обставини в країні різко скоротилося фінансування моніторингових робіт, що не дозволяє здійснити повний комплекс спостережень і досліджень на виділених еталонних об'єктах [5]. Все це створює необхідність розробки і впровадження на практиці теоретичних шляхів обробки інформації проведених спостережень. В той же час ступінь вивченості процесів, що відбуваються на тому чи іншому еталонному об'єкті, і стан мережі спостережень створюють можливість моделювання процесів, що відбуваються в осушуваних ґрунтах. Задача моделювання при відповідній складності досліджуваних систем є виключно складною і, як показують результати різних досліджень, вона до цього часу в достатній мірі не вирішена [2,3].

Основним завданням нашої роботи є розробка математично-статистичних моделей стану осушуваних ґрунтів, які дозволяють відтворити саме ті процеси, які відбуваються на осушуваній території.

Метою досліджень є встановлення статистичних закономірностей динаміки перебігу ґрунтових процесів та відтворення їх у формі математичних моделей.

Основними об'єктами досліджень є ґрунти еталонних осушуваних систем (ОС) зони Українського Полісся та лісостепової частини в Рівненській області: "Воробино", "Язвинка", "Деражне-Постійне", "Головниця", "Стубелка", "Іква". Предметом досліджень нашої роботи є їх основні агрохімічні характеристики: вміст доступного азоту ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ), рухомих форм калію ( $\text{K}_2\text{O}$ ) та фосфору ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), сольовий показник кислотності ґрунту (рН), окисно-відновний потенціал (Eh), вміст органічної речовини.

На основі раніше проведених досліджень [4] можемо стверджувати, що існує можливість моделювання ґрунтових станів та процесів на окремих осушуваних системах. Наступним кроком наших агроґрунтових досліджень є спроба моделювання ґрунтових станів і процесів в цілому за однотипними ґрунтами різних осушуваних територій однієї кліматичної зони. Нами проведено визначення ґрунтових показників в точках однієї осушуваної системи для даної природної зони через ті ж показники в точках інших осушуваних масивів, однакових за типологічним складом та гранулометричним складом ґрунтів.

Основними типами осушуваних ґрунтів лісостепової частини є: торфвоно-болотні, лучно-болотні (ОС "Іква"), болотні, мулувато-торфові заплавні (ОС "Стубелка"), світло-сірі опідзолені, лучно-болотні (ОС "Головниця"), які характеризуються переважанням в гранулометричному складі пілуватих часток – суглинок важкий (середній), торф. Як бачимо, у межах двох еталонних систем Лісостепу – ОС "Іква" та ОС "Головниця" характерним є лучно-болотний тип ґрунту з важким гранулометричним складом та високим вмістом карбонатів. Оскільки основним джерелом інформації про значення агрохімічних показників є дані спостережень на моніторингових ґрунтових стаціонарах, то для побудови емпіричних моделей

стану досліджуваних ґрунтів відберемо ґрунтові стаціонари з вищезазначеними характеристиками. На ОС "Іква" це є стаціонари ІІ, 18І, на ОС "Головниця" – стаціонари ІГ, 10Г, 12Г. Відбір зразків ґрунту проводився з верхнього орного шару (0-0,3) м.

Моделі стану осушуваних ґрунтів мають вигляд лінійного рівняння регресії виду

$$Y = kX + a, \quad (1)$$

де  $Y$  – величина ґрунтового показника, визначеного за моделлю (або дійсне значення відгуку);

$k, a$  – коефіцієнти регресії (параметри емпіричної моделі);

$X$  – спостережувані значення ґрунтового показника.

Моделі були отримані для кожного із досліджуваних стаціонарів ( $Y_{II}$ ,  $Y_{18I}$ ,  $Y_{IG}$ ,  $Y_{10G}$ ,  $Y_{12G}$ ) (всього 35 моделей).

Для структурно-параметричної ідентифікації емпіричних лінійних моделей застосовували метод множинної лінійної регресії. В якості міри відповідності емпіричної моделі спостережуваним значенням відгуку  $Y_{спост}$  використовуємо множинний коефіцієнт кореляції  $R$  між  $Y_{спост}$  та масивом даних  $Y_{mi}$ . Перевірка значущості множинного коефіцієнта кореляції  $R$  здійснювалася за допомогою  $t$ -статистики, яка дозволяє встановити чи є емпірична модель значущою. Відповідність моделей спостережуваним значенням підтверджується, оскільки  $t_{спост} \geq t_{крит}$  [1].

Оцінка надійності отриманої моделі у процесі її верифікації проводилася аналітичним методом шляхом оцінки ступеня збіжності модельованих та емпіричних значень ґрунтових показників за допомогою коефіцієнта парної кореляції  $r$ , спеціального коефіцієнта кореляції [6]

$$RS = \frac{\sum_{i=1}^n (2y_{спост} y_{mi} - y_{mi}^2)^{1/2}}{\sum_{i=1}^n y_{спост}^2}, \quad (2)$$

де  $y_{pi}$  – спостережувані значення агрохімічного показника у досліджуваному стаціонарі;

$y_{mi}$  – модельовані значення агрохімічного показника.

відношення середніх

$$BC = \frac{\bar{Y}_m}{\bar{X}_{спост}}, \quad (3)$$

де  $\bar{Y}_m$  – середнє арифметичне модельованих значень;

$\bar{X}_{спост}$  – середнє арифметичне спостережуваних значень.

коефіцієнта варіації

$$V = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_{mi}}, \quad (4)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення модельованих значень;

$\bar{X}_{mi}$  – середнє значення модельованого ряду.

середньоквадратичної похибки  $\sigma$ , %

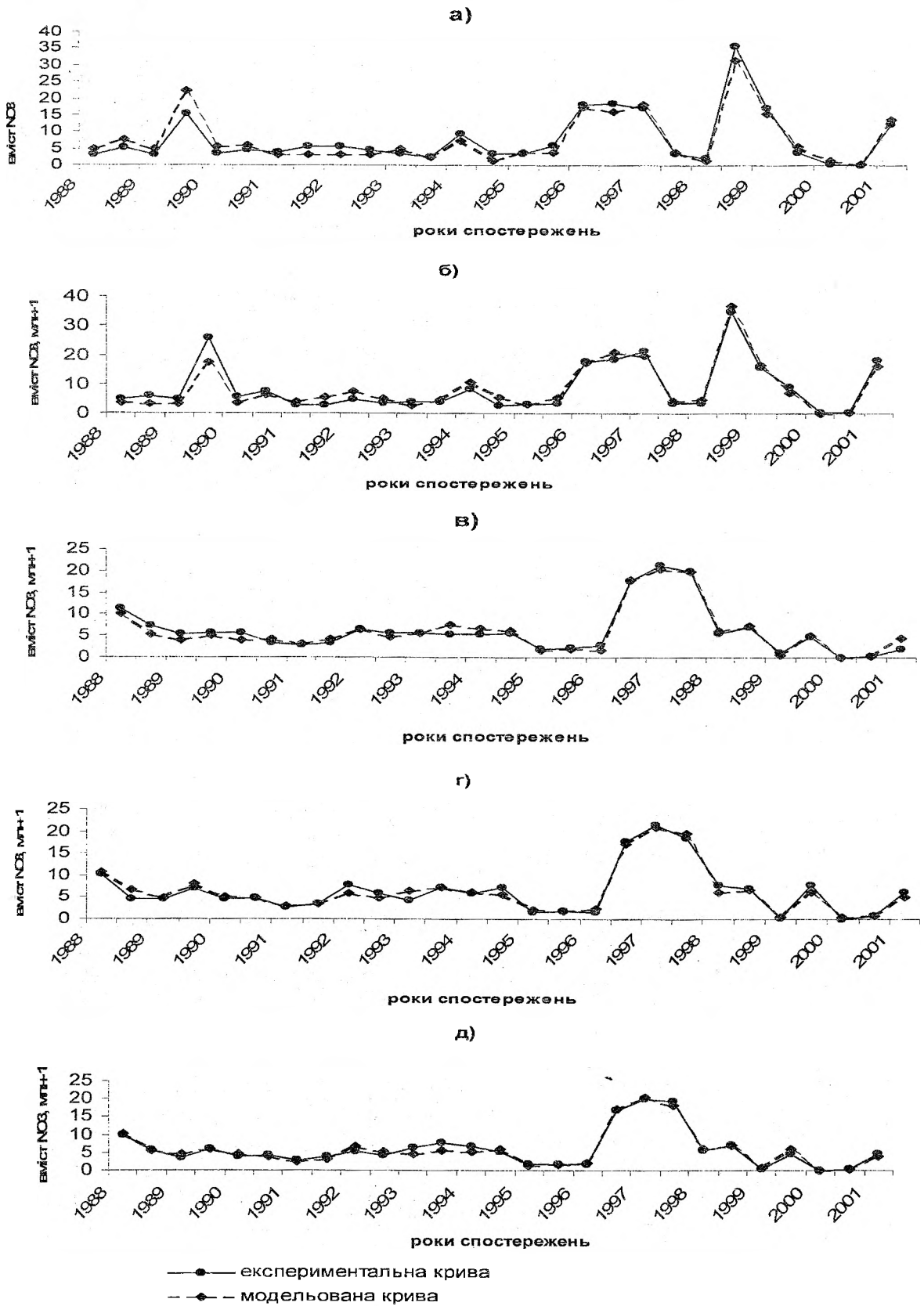
$$\sigma = \frac{100\%}{\bar{Y}_{pi}} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{pi} - y_{mi})^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

результати яких приведені в табл. 1, а також графічним методом при дослідженні імітаційної здатності моделей у часі (рис. 1).

Таблиця 1

## Емпіричні моделі стану лучно-болотного ґрунту і оцінка їх якості

Кількість спостережень	Модель	Коефіцієнти моделей						Стандартна похибка, $\sigma$	Середньоквадратична похибка, $\sigma$ , %	Х <sub>мсер</sub> /Х <sub>есер</sub>	Парний коефіцієнт кореляції, r	Спеціальний коефіцієнт кореляції, R <sub>S</sub>	Коефіцієнт варіації, V
		a	k <sub>II</sub>	k <sub>18I</sub>	k <sub>1Г</sub>	k <sub>10Г</sub>	k <sub>12Г</sub>						
Азот нітратний NO <sub>3</sub>													
27	Y <sub>II</sub>	0,737		0,889	0,702	-0,926	0,156	2,284	28,178	1	0,959	0,980	0,971
	Y <sub>18I</sub>	-0,268	1,027		-0,815	1,004	-0,074	2,455	26,917	1	0,961	0,981	0,948
	Y <sub>1Г</sub>	-0,059	0,152	-0,153		0,330	0,712	1,064	16,800	1	0,982	0,981	0,882
	Y <sub>10Г</sub>	0,526	-0,196	0,184	0,323		0,650	1,052	15,791	1	0,981	0,992	0,816
	Y <sub>12Г</sub>	-0,193	0,024	-0,010	0,496	0,463		0,888	14,492	1	0,986	0,994	0,875
Азот аміачний NH <sub>4</sub>													
27	Y <sub>II</sub>	0,262		0,577	1,048	-0,403	-0,285	2,771	35,895	1	0,895	0,960	0,735
	Y <sub>18I</sub>	1,202	0,729		-0,384	0,051	0,425	3,115	40,460	1	0,847	0,947	0,656
	Y <sub>1Г</sub>	-0,105	0,195	-0,056		0,533	0,344	1,194	13,976	1	0,985	0,947	0,819
	Y <sub>10Г</sub>	0,197	-0,165	0,017	1,178		-0,052	1,775	20,464	1	0,971	0,994	0,840
	Y <sub>12Г</sub>	0,375	-0,155	0,183	1,007	-0,069		2,043	23,746	1	0,954	0,983	0,773
Рухомий калій K <sub>2</sub> O													
24	Y <sub>II</sub>	6,975		0,220	0,270	-0,174	0,091	15,512	41,901	1	0,916	0,955	1,040
	Y <sub>18I</sub>	-21,195	2,638		0,271	0,427	-0,292	53,729	67,232	1	0,902	0,929	1,521
	Y <sub>1Г</sub>	-1,545	0,165	0,014		0,992	-0,038	12,120	28,355	1	0,960	0,979	1,048
	Y <sub>10Г</sub>	3,684	-0,083	0,017	0,774		0,065	10,707	25,048	1	0,877	0,980	0,957
	Y <sub>12Г</sub>	0,814	1,676	-0,446	-1,150	2,493		66,412	83,664	1	0,697	0,830	0,881
Фосфор P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>													
27	Y <sub>II</sub>	-10,326		0,805	0,380	-0,045	-0,010	26,095	79,490	1	0,720	0,852	0,839
	Y <sub>18I</sub>	22,718	0,381		-0,205	0,208	-0,021	17,947	42,737	1	0,790	0,936	0,560
	Y <sub>1Г</sub>	15,021	0,296	-0,337		0,249	0,038	23,029	54,916	1	0,685	0,899	0,526
	Y <sub>10Г</sub>	-24,095	-0,154	1,512	1,099		0,054	48,401	53,261	1	0,786	0,915	0,689
	Y <sub>12Г</sub>	184,684	-0,155	-0,692	0,776	0,246		103,573	48,695	1	0,302	0,901	0,157
pH													
26	Y <sub>II</sub>	1,446		1,108	-0,009	-0,139	-0,174	0,313	4,021	1	0,896	0,999	0,085
	Y <sub>18I</sub>	-0,921	0,652		0,245	0,069	0,173	0,240	3,049	1	0,930	1,000	0,080
	Y <sub>1Г</sub>	0,775	-0,004	0,171		0,483	0,257	0,200	2,486	1	0,911	1,000	0,058
	Y <sub>10Г</sub>	0,341	-0,118	0,099	1,002		-0,036	0,288	3,629	1	0,855	1,000	0,063
	Y <sub>12Г</sub>	1,609	-0,184	0,311	0,661	-0,045		0,321	4,073	1	0,764	0,999	0,052
Eh													
13	Y <sub>II</sub>	13,189		1,003	0,457	1,714	-2,193	49,010	3,322	1	0,959	0,999	0,113
	Y <sub>18I</sub>	9,690	0,606		-0,554	-1,370	2,290	11,917	2,624	1	0,969	1,000	0,103
	Y <sub>1Г</sub>	-9,667	0,360	-0,722		-1,387	2,772	13,603	2,590	1	0,972	1,000	0,123
	Y <sub>10Г</sub>	-8,411	0,318	-0,421	-0,327		1,447	6,603	2,970	1	0,993	1,000	0,120
	Y <sub>12Г</sub>	5,638	-0,168	0,290	0,269	0,597		4,240	0,927	1	0,997	1,000	0,113
Органічна речовина													
27	Y <sub>II</sub>	-0,892		0,051	0,110	-0,240	1,427	2,065	36,493	1	0,845	0,953	0,586
	Y <sub>18I</sub>	0,709	0,090		0,340	0,454	0,448	2,746	34,142	1	0,776	0,954	0,428
	Y <sub>1Г</sub>	-0,220	0,044	0,077		0,220	1,038	1,306	19,515	1	0,925	0,954	0,483
	Y <sub>10Г</sub>	0,900	-0,112	0,120	0,257		0,497	1,412	26,516	1	0,821	0,985	0,389
	Y <sub>12Г</sub>	0,467	0,182	0,032	0,330	0,135		0,737	15,661	1	0,944	0,990	0,457



**Рис.1.** Експериментальні та модельовані криві вмісту  $\text{NO}_3$  ( $\text{млн}^{-1}$ ) для:  
а) стаціонар ПІ, б) стаціонар 18І, в) стаціонар 1Г, г) стаціонар 10Г, д) стаціонар 12Г

Як видно з таблиці 1, кожна із розроблених моделей має високий коефіцієнт парної кореляції  $r$  (крім моделі Y12Г для P2O5), високі значення спеціального коефіцієнта кореляції  $RS > 0,85$ , що характеризує модель як досить добру [6]. Відношення отриманих за моделлю та спостережуваних середніх значень  $\frac{\bar{Y}_m}{\bar{X}_{спост}}$  є близькими до одиниці, що свідчить про високий

ступінь надійності отриманих моделей. Коефіцієнт варіації модельованих рядів рН та Eh наближається до нуля ( $V \Rightarrow 0$ ), що підтверджує стійкість зазначених показників у часовому вимірі та просторі. Для рядів інших досліджуваних показників коефіцієнт варіації  $V \geq 0,5$  і свідчить про значні коливання значень агрохімічних показників відносно середнього значення. Середньоквадратична похибка моделі  $\sigma$ , % є не менш важливою характеристикою вагомості моделі. З метою оцінки якості моделей введемо критичне значення похибки  $\sigma_{кр} = 30\%$ . Як показує аналіз таблиці 1, критичну межу за середньоквадратичною апроксимацією проходять не всі побудовані моделі.

Враховуючи вищевказані критерії оцінки якості емпіричних моделей, для кожного показника вибиралася модель найбільш надійна модель, у тому числі з найкращою середньоквадратичною апроксимацією (табл. 1), тобто за критерієм найменшої середньоквадратичної похибки апроксимації із 5 можливих комбінацій лінійних моделей оптимальними вважалися моделі для яких  $\sigma \leq 30\%$ . Як видно з табл. 1, для практичного застосування рекомендовано наступні моделі: для азоту нітратного – Y1I, Y18I, Y1Г, Y10Г, Y12Г, для азоту амонійного – Y1Г, Y10Г, Y12Г, для рухомого калію – Y1Г, Y10Г, для рН – Y1I, Y18I, Y1Г, Y10Г, Y12Г, для Eh – Y1I, Y18I, Y1Г, Y10Г, Y12Г, для вмісту органічної речовини – Y1Г, Y10Г, Y12Г.

Отримані результати свідчать про те, що у територіальному розподілі властивостей ґрунтового покриву осушуваних земель західної частини гумідної зони України мають місце стохастичні часові та просторові закономірності.

На основі даних багаторічних моніторингових спостережень за агрохімічними показниками осушуваних ґрунтів лісостепової частини в Рівненській області розроблено комплекс лінійних моделей, які дозволяють за наявних обмежень з достатньою для сільськогосподарської, водогосподарської та моніторингової практики точністю розраховувати фактичні значення основних ґрунтових показників лучно-болотних ґрунтів важкого гранулометричного складу на осушуваних землях у часі і просторі.

### Література

1. Антонюк Р.А. Статистическая – обработка результатов исследований в гидромелиорации.–К.: Колос, 1980, –95 с.
2. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей.–К.: «Техніка», 1985, –320 с.
3. Рокочинский А.Н. Оценка уровня антропогенной нагрузки на осушаемые земли. //Модернизация мелиоративных систем и пути повышения эффективности использования осушенных земель (материалы конференции).– Минск: «Полирек», 1998, С.119–123.
4. Сасюк З.К. До методики моделювання станів осушуваних ґрунтів України.//Вісник УДУВГП, Вип.3(16), Рівне, 2002 – С.33–41.
5. Цветова Е.В., Топольник Т.И. Эколого-мелиоративный мониторинг осушаемых земель // Модернизация мелиоративных систем и пути повышения эффективности использования осушенных земель (материалы конференции).– Минск: «Полирек», 1998, С.105–110.
6. Ozga-Zielińska M, Brzeziński J. Hydrologia stosowana. – Warszawa: PWN, 1997. – S. 88–126.