



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.43

© 2015

В.В. Медведєв,
академік НААН,
доктор біологічних
наук

І.В. Пліско,

О.М. Бігун,
кандидати сільсько-
господарських наук

Національний
науковий центр
«Інститут
грунтознавства
та агрохімії імені
О.Н. Соколовського»

ДОСВІД ПЕДОТРАНСФЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ФІЗИКИ ҐРУНТІВ

Мета. На основі інформації, зібраної в базі даних «Властивості ґрунтів України», розробити педотрансферні моделі, що описують вплив умісту фізичної глини й гумусу (базові показники) на щільність будови, структурний склад і деякі ґрунтово-гідрологічні константи (функціональні показники). **Методи.** Математико-статистичне опрацювання вибірок із бази даних «Властивості ґрунтів України». **Результати.** Знайдено 1- і 2-факторні лінійні й квадратичні моделі різного виду.

Висновки. Установлені педотрансферні моделі можна застосовувати для прогнозування стану водно-фізичних властивостей ґрунтів з метою їх моніторингу, ефективного використання в земельній реформі, плануванні й організації ґрунтозахисних заходів.

Ключові слова: педотрансферне моделювання, фізика ґрунтів, прогнозування та моніторинг фізичних властивостей.

Історію становлення педотрансферних моделей та їх приклади широко висвітлено в літературі [10]. Педотрансферні моделі дають змогу визначити одні властивості ґрунтів, використовуючи для цього інші, які вимірюються простіше й дешевше. Це, як зазначив J. Bouma [11] — один з активних прихильників застосування моделей, переведення даних, які ми маємо, у ті, які нам потрібні. Як базові в моделях найчастіше використовують дані гранулометричного складу, щільності будови, умісту органічної речовини. З їхньою допомогою розраховують ґрунтово-гідрологічні константи, фізико-механічні й технологічні властивості, міграцію вологи й речовин, оцінюють (прогнозують) можливості ґрунтів формувати мікро- і макроструктуру.

Реалізація завдань педотрансферного моделювання і розроблення нових видів

моделей дадуть змогу розвинути напрям у ґрунтознавстві, пов'язаний із прогнозами, різними оцінками й управлінням ґрунтом.

Мета досліджень — використовуючи як базові показники дані гранулометричного складу й умісту гумусу, що містяться в базі даних «Властивості ґрунтів України», розробити педотрансферні моделі, які описують структурний склад, рівноважну щільність будови й ґрунтово-гідрологічні константи. На основі моделей оцінити можливі зміни фізичних властивостей за зміни базових показників і визначити можливі напрями їх подальшого використання.

Методи досліджень. Із зазначеної бази даних, раніше описаної Т.М. Лактіоною та ін. [2], було взято дані вмісту фізичної глини й гумусу (базові показники) і вмісту агрономічно корисної фракції структури

розміром 10–0,25 мм, її водостійкості, щільності будови, вологості стійкого в'янення рослин (ВВ), найменшої вологоємності (НВ) й діапазону активної вологи (функціональні показники) орного шару ґрунтів. Усю вихідну інформацію про базові й функціональні показники було систематизовано залежно від умісту гумусу й фізичної глини (табл. 1, 2). На жаль, не вдалося використати важливий чинник формування водно-фізичних властивостей — насиченість колоїдного комплексу кальцієм. Однак, на нашу думку, така втрата була не настільки істотною, тому що більшість орних ґрунтів країни (за винятком ґрунтів Полісся) розвиваються на лесах і лесоподібних суглинках, і вміст кальцію в них незначно різниться. Причиною цього є невелика варіабельність такого показника в ґрунтах країни [1]. Щоправда, це зауваження не стосується опідзолених ґрунтів, процес опідзолення в яких (особливо за умови вияву середнього й сильного ступеня) супроводжується помітною спадною міграцією кальцію й погіршенням водно-фізичних властивостей ґрунтів.

Дані таблиць математично оброблені для побудови 1- і 2-факторних лінійних і квадратичних педотрансферних моделей. Їхню

надійність було перевірено за допомогою коефіцієнта детермінації та інших загальноприйнятих оцінок.

Результати досліджень. Вплив органічної речовини на формування водно-фізичних показників ґрунтів описується квадратичними, лог-нормальними й показовими педотрансферними функціями з високими коефіцієнтами детермінації (рис. 1).

Як і слід було сподіватися, щільність будови зі збільшенням умісту гумусу знижується, а вихід агрономічно корисної фракції структури синхронно зростає. Характерно, що водостійкість структури помітно зростає лише після того, як уміст гумусу в ґрунті перевищить 3,5%. Майже так само зростає ємність для капілярної вологи. На жаль, одночасно також зростає і вологість стійкого в'янення рослин. Причина таких змін очевидна: зі збільшенням умісту гумусу поліпшується структура й унаслідок винятково високої поверхневої енергії гумусу — вологотримувальна здатність ґрунтів. Найменшу щільність будови має щонайкраще оструктурений типовий чорнозем, найбільшу — дерново-підзолистий глинисто-піщаний оглеєний ґрунт, у якому агрегація відсутня взагалі. У такому ґрунті, якщо й утворюються агрегати,

1. Середні значення водно-фізичних властивостей ґрунтів залежно від умісту гумусу

Показник ґрунту	Уміст гумусу, %																	
	<1,5		1,5–2,0		2,0–2,5		2,5–3,0		3,0–3,5		3,5–4,0		4,0–4,5		4,5–5,0		>5,0	
	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n
Уміст фізичної глини (<0,01мм), %	34,7	656	44,2	187	46,7	192	47,1	172	50,2	153	52,2	170	55,7	156	54,4	140	55,6	329
Щільність будови, г/см ³	1,50	317	1,37	62	1,35	65	1,30	56	1,29	58	1,24	49	1,23	35	1,18	29	1,06	88
Уміст макроагрегатів 0,25–10 мм (сухе просіювання), %	43,6	26	61,8	11	57,3	23	57,6	47	61,1	55	56,1	75	60,7	38	63,2	15	79,8	39
Уміст водостійких агрегатів >0,25 мм, %	52,3	29	46,8	12	46,2	28	47,0	55	42,2	63	41,1	86	51,4	56	60,4	39	67,4	120
Вологість стійкого в'янення рослин, %	8,5	139	9,6	54	9,7	66	9,4	69	10,6	48	10,8	55	10,7	76	11,3	61	12,6	164
Вологоємність найменша, %	20,1	80	23,4	9	25,9	13	28,6	11	25,6	4	28,2	4	30,6	2	33,6	1	29,4	2
Діапазон активної вологи, %	11,6	79	14,2	9	17,4	13	17,9	10	16,4	4	15,5	4	20,3	2	19,8	1	15,9	2

Примітка. X — середнє значення вибірки; n — число дат у вибірці (для табл. 1 і 2).

2. Середні значення водно-фізичних властивостей ґрунтів залежно від вмісту фізичної глини

Показник ґрунту	Уміст фізичної глини, %																	
	<10		10–20		20–30		30–40		40–50		50–60		60–70		70–80		>80	
	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n	X	n
Уміст гумусу, %	0,8	71	1,0	152	2,1	247	2,6	287	3,1	347	3,2	419	3,8	459	3,7	148	2,8	26
Щільність будови, г/см ³	1,64	147	1,52	193	1,42	245	1,35	501	1,32	454	1,34	673	1,34	663	1,34	259	1,30	66
Уміст макроагрегатів 0,25–10 мм (сухе просіювання), %	–	–	50,3	9	62,4	37	61,4	145	69,7	192	67,0	250	70,3	187	68,8	81	50,5	18
Уміст водостійких агрегатів >0,25 мм, %	–	–	40,8	10	51,9	36	45,3	142	51,4	191	51,8	248	53,9	186	57,4	80	62,8	17
Вологість стійкого в'янення рослин, %	1,7	87	3,7	119	6,9	163	8,4	345	10,3	351	12,0	588	13,3	587	14,0	230	16,3	59
Вологоємність найменша, %	11,8	57	17,2	103	20,9	141	23,5	336	25,2	338	26,1	532	26,2	504	27,2	222	32,9	55
Діапазон активної вологи, %	11,2	46	14,1	89	14,2	133	15,2	320	15,2	326	14,3	514	13,2	487	13,2	215	16,4	54

то вони характеризуються мінімальними показниками міцності і пористості й помилковою водостійкістю. Тому піщаний ґрунт має рівноважну щільність будови, як правило, вище 1,5 г/см³, суглинистий і глинистий — нижче 1,3 г/см³.

Трохи несподівана (лише на перший погляд) характеристика водостійкості ґрунтів, що стає дедалі кращою за вмісту гумусу менше 3%. Безсумнівно, що, як це відзначав ще П.В. Вершинін [4], при цьому в ґрунті формуються не істинні, а помилково стійкі агрегати, які за умови більш тривалого, як рекомендовано методикою Саввінова, намочування розмокають.

Не можна не звернути уваги на логнормальну модель, що зв'язує гумус і фізичну глину й демонструє сильну залежність між показниками за вмісту гумусу 1,5–3,5%, яка слабшає за більш значного вмісту гумусу. Слід зазначити, що О.О. Бацулою [6] за аналізування синхронних вибірок — зміни вмісту гумусу в ґрунтах та урожаю, було встановлено, що останній не зростає за вмісту гумусу в ґрунті 3,5% [9].

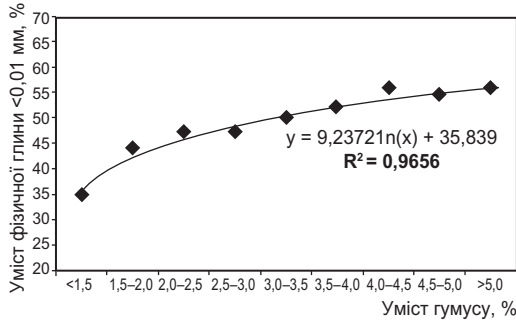
Вплив вмісту фізичної глини на формування водно-фізичних властивостей ґрунтів описується квадратичними й показовими функціями переважно з дуже високими коефіцієнтами детермінації.

За умови наростання в ґрунті вмісту фізичної глини щільність будови знижується — спочатку швидко, а коли ґрунт стає середньосуглинковим і важчим — дуже повільно. Установлений непропорційний вплив фізичної глини на формування водно-фізичних властивостей (сильний — за вмісту 10–35% і дуже слабкий — за вмісту понад 35%) ставить під сумнів коректність використання показника фізичної глини для характеристики фізичних властивостей у чинній методиці бонітування [7].

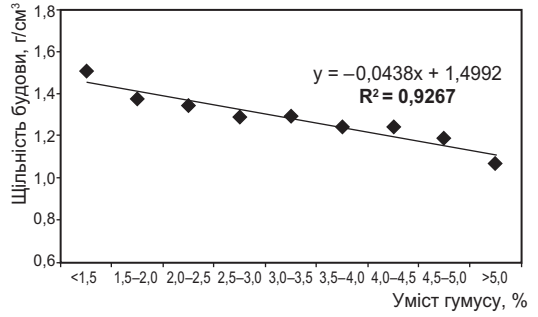
Найбільший уміст агрегатів агрономічно корисного розміру простежується за середньої кількості фізичної глини, за її кількості менше 30 і більше 80% агрегувальна здатність глини помітно слабшає.

Взаємозв'язок фізичної глини з водостійкістю агрегатів є простим — чим її в ґрунті більше, тим водостійкість вища.

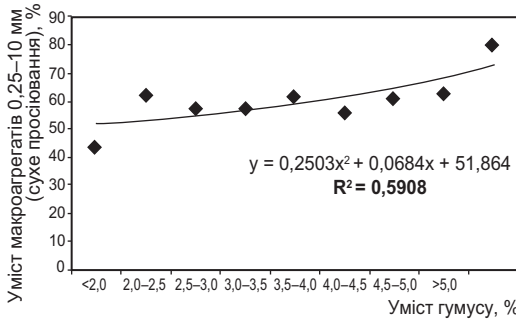
Увесь винятково широкий діапазон вмісту в ґрунтах фізичної глини, наявний у базі (від менше 10 до більше 80%), позначається на досить вузькому діапазоні зміни ВВ і НВ, відповідно 2–16% і 10–30%. Причому для ґрунтів легкого гранулометричного складу цей зв'язок дуже істотний, а в ґрунтах середнього й важкого — ледь простежується, тому що апроксимовані криві розміщуються майже паралельно осі абсцис.



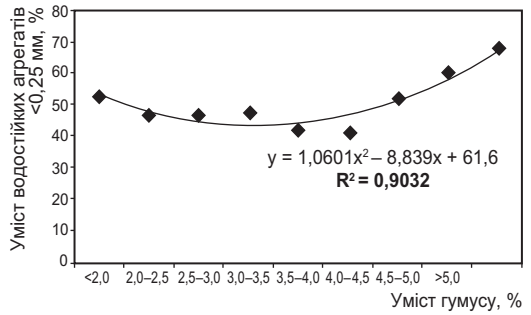
а



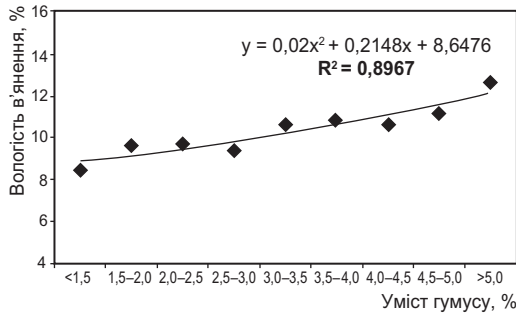
б



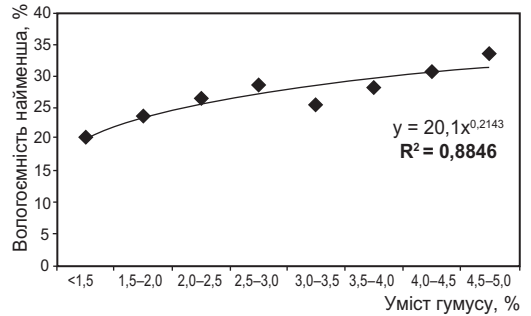
в



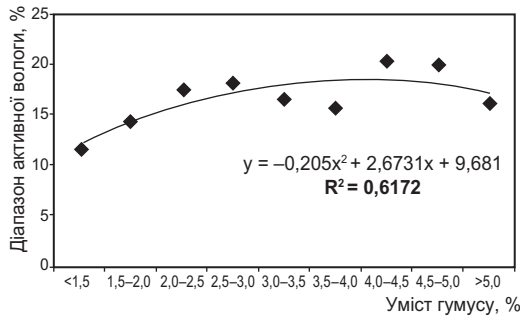
г



д



е



є

Рис. 1. Вплив органічної речовини на формування фізичних і водно-фізичних властивостей ґрунтів: а – уміст фізичної глини; б – щільність будови; в – уміст макроагрегатів 0,25 – 10 мм; г – уміст водостійких агрегатів >0,25 мм; д – вологість стійкого в'янення рослин; е – найменша вологоємність; є – діапазон активної вологи

3. Педотрансферні моделі лінійного і квадратичного видів і їхні статистичні оцінки

Функціональний показник	Коефіцієнт детермінації	Стандартна похибка	Критерій Фішера
<i>Лінійна модель</i>			
Рівноважна щільність будови, г/см ³	0,58	$Z = 1,5606 - 0,0011x - 0,0664y$ 0,14	(2,662)=464,57
Агрономічно корисні агрегати розміром 0,25–10 мм, %	0,17	$Z = 35,8572 + 0,3937x + 3,4445y$ 18,10	(2,246)=25,024
Водостійкі агрегати >0,25 мм, %	0,15	$Z = 43,151 + 0,0262x + 3,4798y$ 15,79	(2,245)=21,437
ВВ, %	0,65	$Z = 1,257 + 0,2362x - 0,0698y$ 3,41	(2,177)=166,54
НВ, %	0,78	$Z = 8,1692 + 0,3347x + 1,1114y$ 3,89	(2,64)=111,38
ДАВ, %	0,43	$Z = 12,5779 - 0,0054 + 1,5942y$ 2,58	(2,13)=4,8319
<i>Квадратична модель</i>			
Рівноважна щільність будови, г/см ³	0,63	$Z = 1,6929 - 0,0103x - 0,0645y + 0,0001x^2 - 0,0001xy + 0,0006y^2$ 0,13	(5,659)=223,62
Агрономічно корисні агрегати розміром 0,25–10 мм, %	0,20	$Z = -0,7335 + 1,5621x + 9,5318y - 0,0113x^2 - 0,0478xy - 0,391y^2$ 17,86	(5,243)=12,234
Водостійкі агрегати >0,25 мм, %	0,22	$Z = 72,8434 - 0,1096x - 7,1738y - 0,0077x^2 + 0,1619xy + 0,3427y^2$ 15,23	(5,242)=13,474
ВВ, %	0,67	$Z = 0,0945 + 0,2192x + 1,2117y + 0,0011x^2 - 0,0323xy + 0,0566y^2$ 3,35	(5,174)=71,181
НВ, %	0,84	$Z = 3,8882 + 0,8719x - 0,2831y - 0,0103x^2 + 0,0724xy - 0,2917y^2$ 3,36	(5,61)=64,669
ДАВ, %	0,64	$Z = -1,3202 + 0,9216x + 5,4379y - 0,0126x^2 - 0,0581xy - 0,1768y^2$ 2,33	(5,10)=3,5269
Примітка. x — уміст фізичної глини, %; y — уміст гумусу, %.			

Слід зазначити, що діапазон активної вологи (ДАВ) найменше залежить від умісту в ґрунті фізичної глини. Так, за його вмісту 10% ДАВ сягає 11%, за вмісту 80% — лише близько 16%.

Пов'язаний вплив умісту гумусу і фізичної глини на формування водно-фізичних властивостей ґрунтів наведено в табл. 3, на рис. 2, а також див. рис. на 4-й сторінці обкладинки.

За допомогою математичної обробки даних отримано 2-факторні моделі лінійного

й квадратичного видів. Надійнішими виявилися моделі для щільності будови й ґрунтово-гідрологічних констант (ВВ і НВ), менш надійними (однак достовірними з огляду на переважно значні розміри вибірок) — для інших функціональних показників. Лінійні моделі були простішими, зрозумілішими, але менш коректними.

Педотрансферні моделі можуть мати найрізноманітніше застосування. Скажімо, для прогнозування функціональних показників

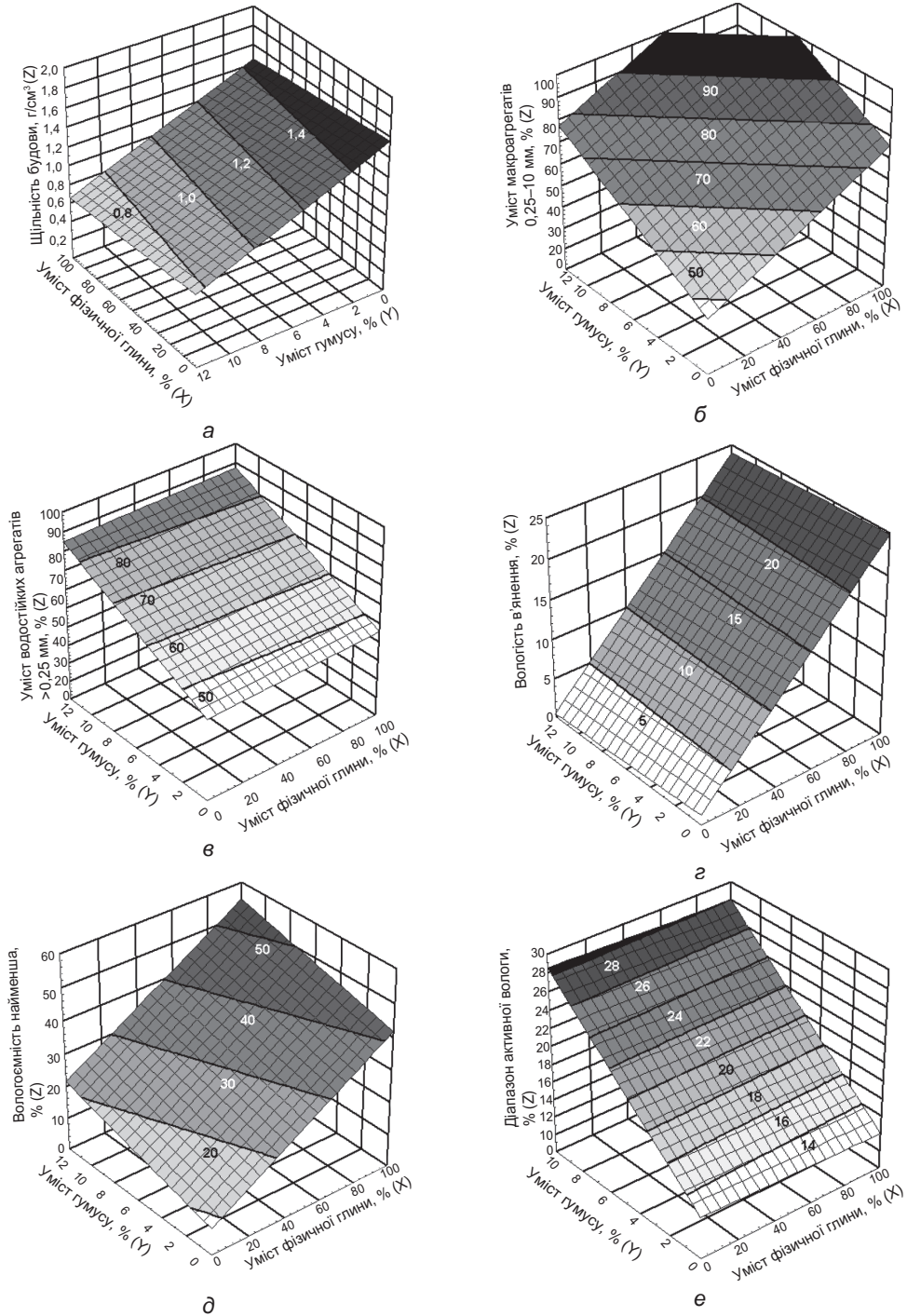


Рис. 2. Педотрансферні моделі лінійного виду для визначення фізичних і водно-фізичних властивостей ґрунтів за вмістом загального вуглецю й фізичної глини: а – щільність будови; б – уміст макроагрегатів 0,25–10 мм; в – уміст водостійких агрегатів >0,25 мм; г – вологість стійкого в'янення рослин; д – найменша вологоємність; е – діапазон активної вологи

за умови зміни базових показників. Покажемо це на прикладі. Приблизно за 50 років середній уміст гумусу в орних ґрунтах країни зменшився з 3,5 до 3,1%, або на 0,008% за рік [8]. Якщо якість землекористування збережеться на нинішньому рівні, то через 50 років рівноважна щільність будови ґрунтів зросте на 0,1 г/см³, що свідчитиме про щорічне зменшення врожайності на 6 ц/га (згідно з нормативними оцінками впливу ущільнення на врожайність [3]), або у валовому вимірі щороку втрата становитиме майже 100 тис. т зерна за площі вирощування зернових культур близько 20 млн га.

Інший приклад — для оцінки фізичних властивостей ґрунтів територій, на яких водно-фізичні властивості раніше не вивчали. Досить актуальне це питання для Полісся, де вимірів водно-фізичних властивостей значно менше, ніж у Лісостепу й Степу.

Особливо важливими педотрансферні моделі можуть стати в зрошуваному землеробстві для визначення НВ — ключового параметра для розрахунку поливних норм. Їх можна використовувати замість громіздкого вимірювання цієї характеристики методом площадок, що заливаються. Зазначимо, що у виробництві цим методом не користуються, а необхідні параметри запозичають із довідників. Можна стверджувати, що це є однією з причин надмірного поливу і, як наслідок, істотного розвитку процесів вторинного осолонцювання й засолення за зрошення.

Так само педотрансферні моделі перспективні для визначення іншої важливої ґрунтово-гідрологічної константи — вологості стійкого в'янення рослин. Прямий метод виміру цієї характеристики за допомогою вегетаційних мініатюр використовують рідко, а розрахунок за даними максимальної гіроскопічності множенням її на коефіцієнт

1,34, як зазначав А.Г. Дояренко [5], дуже неточний, оскільки не враховує різну здатність культур засвоювати важкодоступну вологу. Тому можна стверджувати, що нині фактично відсутні експериментальні дані про реальну кількість недоступної води в ґрунті. Є підстави вважати, що педотрансферний розрахунок ВВ істотно поліпшить ситуацію, що склалася.

Педотрансферні оцінки водно-фізичних властивостей ґрунтів можуть виявитися корисними під час розшифрування дистанційної інформації, особливо з огляду на те, що гумус і фізичну глину оцінюють при аналізі космічних знімків уже досить надійно. Це дасть змогу істотно уточнити наявну просторову інформацію про стан фізичних властивостей ґрунтів.

Ще приклад: для визначення територій, де є вияви фізичної деградації. Причина останньої — найчастіше у втраті гумусу й зниженні здатності ґрунтів формувати агрономічно корисну структуру. Розрахунок за допомогою моделей може бути простим способом виявлення так званих «hot spots» — «гарячих плям» — місць, де частіше виявляються переущільнення, брили, розпилення й можлива вітрова ерозія.

Очевидні перспективи педотрансферних моделей у моніторингу при еталонуванні індикаторних показників стану ґрунтів залежно від місцевих значень базових показників та для виявлення тренду змін тих самих індикаторних показників.

Нарешті, за подальшої регіоналізації й перевірки надійності моделі можна застосовувати в контролі за станом ґрунтів в умовах довгострокової оренди земель, уточненні вартості земельної ділянки за її продажу й для ефективнішого й об'єктивнішого ведення ринкових перетворень.

Висновки

Формування водно-фізичних властивостей ґрунтів (їхнього структурного стану, щільності будови й ключових ґрунтово-гідрологічних констант — функціональні показники) можна кількісно описати за допомогою фізичної глини й умісту гумусу (базові показники).

Базові й функціональні показники зв'язані різноманітними педотрансферними моделями, які різняться за формою і ступенем

надійності. Перевагу, очевидно, варто віддати багатofакторним моделям квадратичного виду, але це твердження потребує перевірки й подальших досліджень.

Установлені педотрансферні моделі можна застосовувати для прогнозування стану водно-фізичних властивостей, з метою їхнього моніторингу, ефективного використання в земельній реформі, плануванні й організації ґрунтозахисних заходів.

Бібліографія

1. *Атлас почв Украинской ССР*; под ред. Н.К. Крупского и др. — К.: Урожай, 1979. — 160 с.
2. *База данных «Свойства почв Украины». Структура и порядок использования*[Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, К.В. Савченко и др.]. — [2-е. изд.]. — Х.: ЦТ № 1, 2012. — 150 с.
3. *Бондарев А.Г. Заключение*/А.Г. Бондарев, В.А. Русанов, В.В. Медведев//Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. — М.: Наука, 1987. — С. 205–209.
4. *Вершинин П.В. Твердая фаза почвы как основа ее физического режима*/П.В. Вершинин// Основы агрофизики. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1959. — С. 209–404.
5. *Дояренко А.Г. Избранные сочинения*/А.Г. Дояренко. — М.: Изд-во с.-х. лит-ры, журн. и плакатов, 1963. — 495 с.
6. *Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу у ґрунті*; за. ред. О.О. Бацули. — К.: Урожай, 1987. — 128 с.
7. *Методика бонитировки почв Украины*/ [Л.Я. Новаковский, А.П. Канаш, А.И. Розумный и др.]. — К., 1992. — 102 с.
8. *Методичні вказівки з охорони ґрунтів*/ [В.О. Греков, Л.В. Дацько, В.А. Жилкін та ін.]. — К.: Держ. наук.-техн. центр охорони родючості ґрунтів Мінагрополітики і продовольства, 2011. — 108 с.
9. *Полупан М.І. Класифікація ґрунтів України*/ М.І. Полупан, В.Б. Соловей, В.А. Величко. — К.: Аграр. наука, 2005. — 299 с.
10. *Шеин Е.В. Педотрансферные функции: состояние, проблемы, перспективы*/Е.В. Шеин, Т.А. Архангельская//Почвоведение. — 2006. — № 10. — С. 1205–1217.
11. *Bouma J. Using soil survey data for quantitative land evaluation*/J. Bouma//Advances in Soil Science. — 1989. — № 9. — P. 177–213.

Надійшла 3.11.2014.