
THEORETICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. V. Medvedev✉ Academician of NAAS
of Ukraine,
Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 631.43

*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry»,
Chaikovska str., 4, 61024, Kharkov, Ukraine*

CRITERIA, NORMATIVE PARAMETERS AND PEDOTRANSFER MODELS FOR PRECISE TILLAGE

Abstract. As object the field by the area of 40 hectares in Forest-steppe of the Kharkiv area on which three types of soil are allocated - chernozem typical poorly eroded, chernozem podsolich and dark grey podsolich. The regular network from 45 elementary plots on a field have put. On everyone them the contents of physical clay and total humus (in the subsequent models it there were base parameters), and also equilibrium bulk of density, penetration resistance, blocks (functional parameters) and the crop are considered. Statistical parameters and geostatistics are calculated. Results of processing of the spatial information were those. Factors of pair and plural correlation between base and functional parameters - within the limits of 0,5-0,8, factors of a variation - low for the content of humus, physical clay and bulk of density, moderately high for penetration resistance and very high - for block. The variogram - mainly spherical type, the nagget-effect was insignificant, and the radius of correlation has made about 240-260 m. Though variability of base parameters was moderate, and functional raised, presence of autocorrelation function, that is its authentic deviation from zero, proves existence of spatial heterogeneity on the investigated field. About same obvious peaks on curves of spectral density of a dispersion testify. It means, that connections between base and functional parameters were encouraging enough, their spatial structures in the investigated field relatives, and search of borders between allotments with various fertility, it has appeared quite proved and successful. The final stage of processing consisted in construction of 2-D-diagrams on experimental data (with use of software Surfer), and then the same diagrams of blocks, bulk of density and of penetration resistance (as indicators of preseeding precise tillage) on settlement pedotransfer models. Instead of difficult procedure of an establishment of spatial heterogeneity of a field and revealing on it of contours with various physical properties it is offered to take advantage of pedotransfer models. As the basis for this purpose close values of thresholds of a dispersion and radiuses of correlation, authentic correlation connections between soil base and functional parameters have served uniformity spherical variogrammes. For a choice of intensity of preseeding operations normative parameters for display physical properties of a sowing layer are proved. Revealed on the

✉ Tel.: +038057-704-16-69, e-mail: vmedvedev@ukr.net

DOI: 10.15421/041413

basis of settlement models and natural researches on a field agritechnology contours for differentiation of intensity of preseeded tillage have appeared similar enough on a configuration and the area. Thus, in article the basic opportunity of allocation on a field agritechnology groups for carrying out of various ways of machining, using for this purpose pedotransfer models is shown. Pedotransfer modelling can become actual only on condition that other, more simple and effective ways of measurement of base parameters will be found, it is desirable in modes in situ and on-line. Pedotransfer models are perspective in precise agriculture under condition of development of remote methods of definition of base parameters.

Keywords: models, texture, the humus contents, indicators of a sowing layer, agritechnology contours of field.

Keywords: *models, texture, the humus contents, indicators of a sowing layer, agritechnology contours of field.*

УДК 631.43

В. В. Медведєв

акад. НААН України,
д-р біол. наук, проф.

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, 61024, м. Харків, Україна,
тел.: +038057-704-16-69, e-mail: vvmmedvedev@ukr.net*

КРИТЕРІЇ, НОРМАТИВНІ ПАРАМЕТРИ І ПЕДОТРАНСФЕРНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ТОЧНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТІВ

Як об'єкт використано поле площею 40 га у Лисостепу Харківської області, на якому виділено три типи ґрунту – чорнозем типовий слабо еродований, чорнозем опідзолений і темно-сірий опідзолений ґрунти. На поле заклали регулярну мережу із 45 елементарних площадок. На кожній з них визначено вміст фізичної глини й загального гумусу (у наступних моделях це були базові показники), а також рівноважну щільність будови, твердість, брилистість (функціональні показники) і враховано урожай. Розраховано статистичні й геостатистичні показники, коефіцієнти парної й множинної кореляції. Заключний етап обробки складався у побудові 2-D-діаграм за експериментальними даними (з використанням програмного забезпечення Surfer), а потім таких же діаграм брилистості, щільності будови й твердості (як індикаторів точного передпосівного обробітку) за розрахунковими педотрансферними моделями. Замість складної процедури встановлення просторової неоднорідності поля й виявлення на ньому контурів з різними фізичними властивостями запропоновано скористатися педотрансферними моделями. Підставою для цього послужили однотипність сферичних варіограм, близькі значення порогів дисперсії й радіусів кореляції, достовірні кореляційні зв'язки між базовими й функціональними показниками ґрунтів. Для вибору інтенсивності передпосівних операцій обґрунтовано нормативні параметри для індикаторних фізичних властивостей посівного шару. Виявлені на полі на підставі розрахункових моделей і натурних досліджень агротехнологічні контури для диференціації інтенсивності передпосівних розпушувань виявилися досить подібними за конфігурацією й площею. Педотрансферні моделі перспективні у точному землеробстві за умови розвитку дистанційних методів визначення базових показників.

Ключові слова: *моделі, грансклад, вміст гумусу, індикатори посівного шару, агротехнологічні контури поля.*

УДК 631.43

В. В. Медведєв

акад. НААН України,
д-р біол. наук, проф.

*Національний науковий центр «Інститут почвоєдіння і агрохімії
ім. А. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, 61024, г. Харків, Україна,
тел.: +038057-704-16-69, e-mail: vvmmedvedev@ukr.net*

КРИТЕРИИ, НОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ПЕДОТРАНСФЕРНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ТОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВ

В качестве объекта использовано поле площадью 40 га в Лесостепи Харьковской области, на котором выделены три типа почвы – чернозем типичный слабо эродированный,

чернозем оподзоленный и темно-серая оподзоленная почва. На поле заложили регулярную сеть из 45 элементарных площадок. На каждой из них определено содержание физической глины и общего гумуса (в последующих моделях это были базовые показатели), а также равновесную плотность сложения, твердость, глыбистость (функциональные показатели) и учтен урожай. Рассчитаны статистические и геостатистические показатели, коэффициенты парной и множественной корреляции. Заключительный этап обработки состоял в построении 2-D-диаграмм по экспериментальным данным (с использованием программного обеспечения Surfer), а затем таких же диаграмм глыбистости, плотности сложения и твердости (как индикаторов точной предпосевной обработки) по расчетным педотрансферным моделям. Вместо сложной процедуры установления пространственной неоднородности поля и выявления на нем контуров с различными физическими свойствами предложено воспользоваться педотрансферными моделями. Основанием для этого послужили однотипность сферических вариограмм, близкие значения порогов дисперсии и радиусов корреляции, достоверные корреляционные связи между базовыми и функциональными показателями почв. Для выбора интенсивности предпосевных операций обоснованы нормативные параметры для индикаторных физических свойств посевного слоя. Выявленные на основании расчетных моделей и натурных исследований на поле агротехнологические контуры для дифференциации интенсивности предпосевных рыхлений оказались достаточно подобными по конфигурации и площади. Педотрансферные модели перспективны в точном земледелии при условии развития дистанционных методов определения базовых показателей.

Ключевые слова: модели, грансостав, содержание гумуса, индикаторы посевного слоя, агротехнологические контуры поля.

ВВЕДЕНИЕ

Замедленное освоение точного земледелия даже в странах с хорошим техническим оснащением сельскохозяйственного производства происходит вследствие сложной процедуры установления пространственной неоднородности поля и выявления на нем контуров с различным уровнем плодородия (Precision farming of cereal crops., 2002; Dawson, 2006). Это требует закладки на поле регулярной сети элементарных делянок и производства значительного количества разнообразных полевых и лабораторных анализов, чем и объясняются многочисленные попытки изыскать более эффективные способы парцеллизации (дробления) поля на агротехнологически приемлемые контуры с различным плодородием. При этом наиболее часто используют данные пестроты урожая, полученные во время его уборки (Moore, 2002; Development., 2003; Aniskevich, 2005). Однако такой способ не всегда точно отражает неоднородность почв поля, ибо хорошо известно, как много факторов (в том числе случайных) влияют на величину урожая. Применяют также детальные гипсометрические карты, что оправданно лишь частично, поскольку далеко не все элементы плодородия зависят от изменения рельефа (Prokhorova, 1980; Precise agriculture, 2001; Romanenkov et al., 2006). Точно так же ненадежны зависимости плодородия от электропроводности, ибо лишь в некоторых почвах, обогащенных электроактивными компонентами и влагой, подобные зависимости могут иметь место (Pozdnjakov and Pozdnjakova, 1983; Geophysical methods., 2006). Более перспективными кажутся исследования, связанные с применением дистанционных средств, позволяющие уже достаточно надежно диагностировать гранулометрический состав и содержание гумуса – важнейших базовых показателей в любых педотрансферных моделях (Gychka, 2005; Navrankova et al., 2006; Truskavetskiy, 2006), либо изучение физических и химических свойств почв в режиме on-line с помощью соответственно навесных твердомера и спектрофотометра, подробно описанных нами ранее на основании литературных источников (Medvedev, 2007).

Цель настоящей работы состояла в попытке использовать педотрансферные модели, базовыми элементами в которых являются содержание физической глины и

гумуса, а функциями – индикаторы физического состояния почвы, и на их основе выбрать способы предпосевной обработки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта использовано поле в Лесостепи Харьковской области, на котором выделены три типа почвы – чернозем типичный слабо эродированный, чернозем оподзоленный и темно-серая оподзоленная почва. На поле площадью 40 га заложили регулярную сеть из 45 элементарных площадок. На каждой их них определено содержание физической глины, общего гумуса, плотности сложения, твердости, структурного состава и учтен урожай. Рассчитаны статистические и геостатистические показатели, коэффициенты парной и множественной корреляции. Заключительный этап обработки состоял в построении 2-D-диаграмм по экспериментальным данным (с использованием программного обеспечения Surfer), а затем таких же диаграмм глыбистости, плотности сложения и твердости (как индикаторов точной предпосевной обработки) по расчетным педотрансферным моделям. В результате сравнения расчетных и экспериментальных диаграмм доказана возможность применения дифференцированных (точных) способов обработки на основе педотрансферных моделей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расчет парных и множественных коэффициентов корреляции между базовыми (гумус и физическая глина) и функциональными (глыбистость, равновесная плотность сложения и твердость) показателями (табл. 1) предоставил вполне обнадеживающую информацию о возможности формализации связи между ними. Склонность почв к уплотнению, упрочнению и образованию глыб снижается с увеличением в их составе органических веществ и физической глины. Разумеется, это утверждение правомочно только в исследованном диапазоне базовых характеристик и, вероятно, будет нарушаться при увеличении содержания в почве песчаных частиц и уменьшении содержания гумуса. В частности, в дерново-подзолистых почвах Полесья. Поэтому разработанные в дальнейшем педотрансферные модели могут быть справедливыми, скорее всего, лишь для суглинистых черноземовидных почв Лесостепи, да и то при условии их основательной проверки. Но, несмотря на ограничения в применении моделей, их перспективы несомненны, ибо регулирование физических свойств почв в предпосевной период оказывается важным для формирования урожая (Вигор, 1969). Особенно актуальным является устранение глыб из посевного слоя, что ускоряет прорастание культур за счет более рационального расходования запасов доступной влаги. Одновременно улучшается развитие корней в глубину подпахотного слоя, что снижает опасные последствия частой майской засухи, повышая адаптацию растений к недостатку влаги. Результаты расчета коэффициентов корреляции между функциональными показателями и урожаем ячменя, осуществленные по имеющимся в нашем распоряжении данным, также подтверждают эту зависимость (табл. 2).

Таблица 1

Коэффициенты парной и множественной корреляции между базовыми и функциональными показателями в слое почв 0–10 см

Базовый показатель	Функциональный показатель		
	Глыбы	Плотность сложения	Твердость
ФГ	–0,52	–0,81	–0,75
Г	–0,53	–0,73	–0,68
ФГ, Г	–0,55	–0,84	–0,77

ФГ – физическая глина; Г – гумус.

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции между урожаем культур и физическими свойствами почв

Показатель почвы	Глубина, см	Коэффициент корреляции
Содержание глыб	0–10	-0,57
	0–5	-0,68
	10–15	-0,70
	20–25	-0,60
	30–35	-0,48
Плотность сложения	0–10	-0,79
	10–20	-0,77
	20–30	-0,70
	30–40	-0,64

Статистические и геостатистические оценки базовых и функциональных показателей представлены в табл. 3. Хотя варибельность базовых показателей умеренная, а функциональных – повышенная, наличие автокорреляционной функции, то есть ее достоверное отклонение от нуля, доказывает существование пространственной неоднородности на исследованном поле. Об этом же свидетельствуют не демонстрируемые в статье явные пики на кривых спектральной плотности дисперсии. Обращают на себя внимание однотипные (за исключением глыбистой фракции) сферические вариограммы с очень близкими по величине параметрами радиуса корреляции (рис. 1). Это значит, что исследованные нами показатели варьируют в пространстве поля подобным образом, а порог дисперсии достигается приблизительно на одном и том же расстоянии. Именно в этой зоне (плавного затухания дисперсии) следует искать границы между отдельными элементами точного земледелия.

Таблица 3

Статистические и геостатистические оценки базовых и функциональных показателей (слой 0–10 см)

Показатель	Гумус	Физическая глина	Равновесная плотность сложения	Твердость	Глыбы
Среднее значение	5,0 %	49 %	1,15 г/см ³	24 кгс/см ²	10,9 %
Размах колебаний	2,0 %	21 %	0,20 г/см ³	30 кгс/см ²	26 %
Стандартное отклонение	0,44	4,39	0,04	6,94	6,6 %
Дисперсия	0,2	19,3	0,0	48,2	43,6
Коэффициент вариации	0,09	0,09	0,04	0,29	0,60
Коэффициент асимметрии	-0,90	0,11	0,26	1,02	0,27
Наггет-эффект	0,02	2	0	0	0
Порог дисперсии	0,197	16	0,0015	54	?
Радиус корреляции, м	250	240	250	260	?
Вариограмма	Сферическая	Сферическая	Сферическая	Сферическая	Линейная
Наличие достоверной автокорреляционной функции	+	+	+	+	+

Однако такой констатации совершенно недостаточно. Ведь нужно установить точную конфигурацию участков, обладающих качественно различными характеристиками. Для этого нужно построить 2-D-диаграммы (рис. 2). Даже

предварительный анализ и сравнение диаграмм между собой позволяют установить наличие достаточно явной пространственной локализации исследованных показателей. В соответствии с отрицательными коэффициентами корреляции делаем вывод: чем меньше в почве гумуса и физической глины, тем выше равновесная плотность, твердость и способность образовывать глыбы. При сопоставлении диаграмм с почвенной картой поля оказалось, что подобным образом возрастают оподзоленность и смывость. Иначе говоря, можно уверенно утверждать, что именно эти особенности почв приводят к дифференциации показателей на поле и именно они требуют адекватной дифференциации агротехнологических приемов.

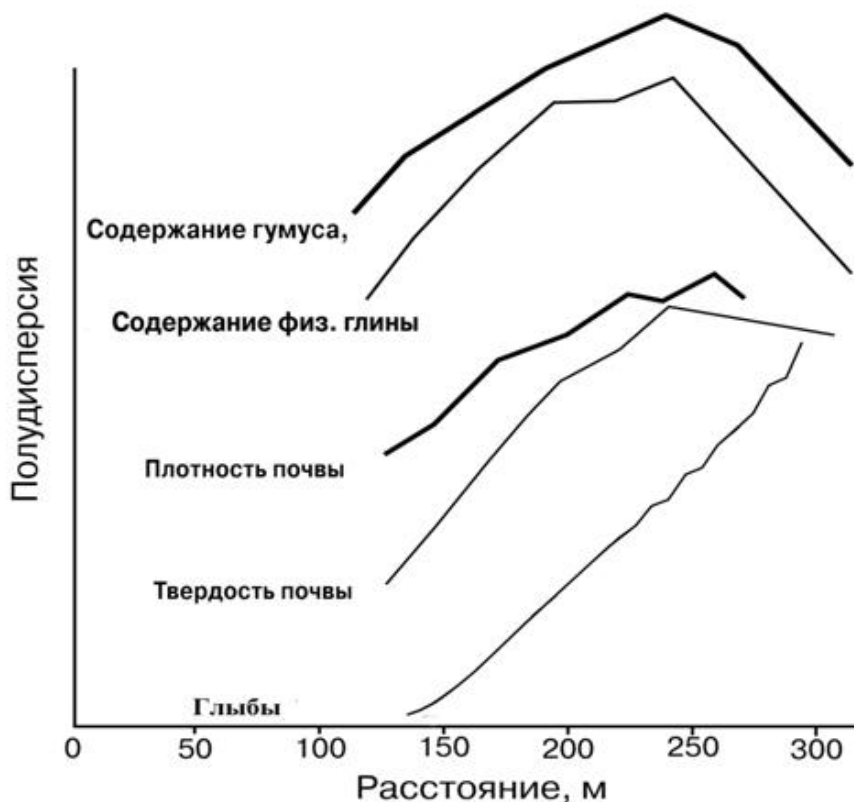


Рис. 1. Ковариограммы базовых и функциональных показателей для слоя почв 0–10 см исследованного поля

Обработка диаграмм с использованием той же программы Surfer позволила получить площади контуров с различными показателями (табл. 4), а применение нормативных показателей (табл. 5) – объединить отдельные контуры в агротехнологические группы с различными технологиями обработки. Площади основных агротехнологических групп поля для проведения различной обработки, полученные экспериментальным и расчетным способом, показаны в табл. 6.

Нормативные показатели равновесной плотности сложения разработаны нами на основании многолетних модельных исследований, обобщенных в работе (Medvedev et al., 2004), вредного влияния глыб и повышенной твердости – на основе литературных данных, также обобщенных нами в публикациях (Medvedev, 2009, 2013).

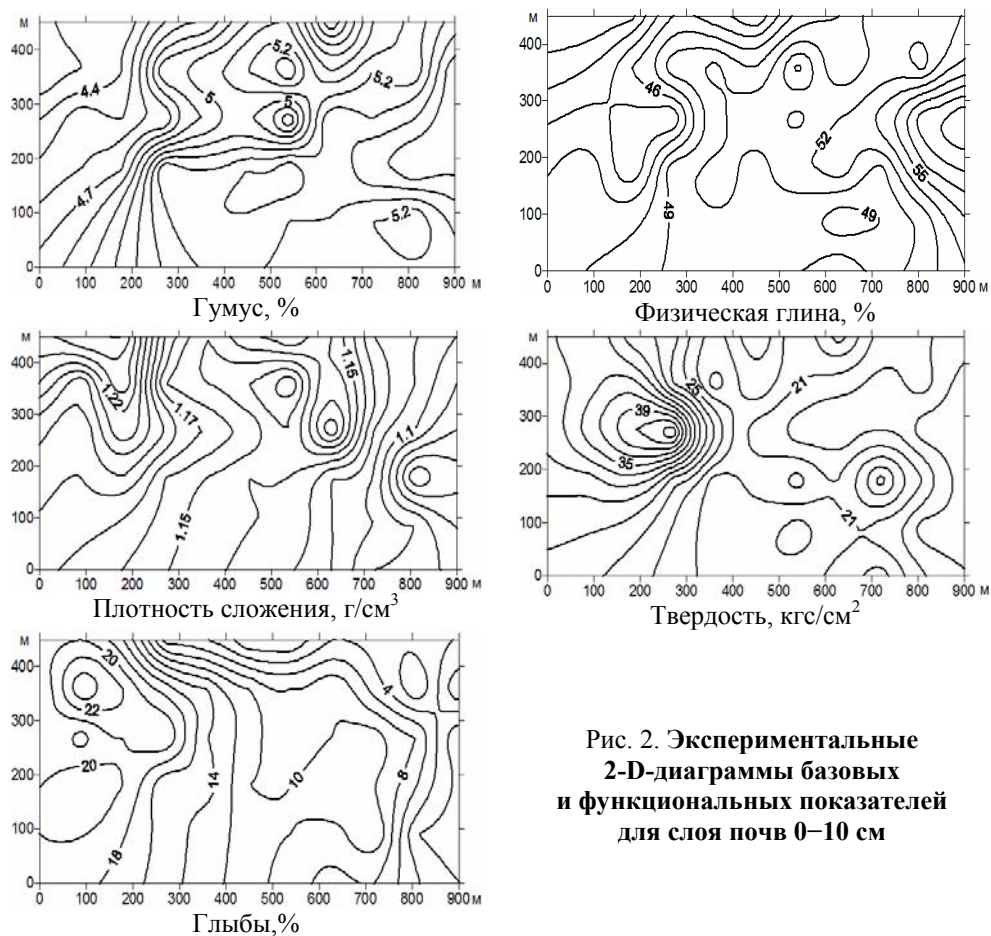


Рис. 2. Экспериментальные 2-D-диаграммы базовых и функциональных показателей для слоя почв 0–10 см

Таблица 4

Площади контуров базовых и функциональных показателей для слоя почв 0–10 см на исследованном поле

Гумус, %	Площадь		Физи- ческая глина,%	Площадь		Плотность, г/см ³	Площадь		Твер- дость, кг/см ²	Площадь		Глы- бы, %	Пло- щадь	
	%	га		%	га		%	га		%	га		%	га
3,6–3,9	0,38	0,15	40–44	6,62	2,66	1,05–1,08	1,88	0,75	15–20	24,80	9,95	<5	15,4	6,2
3,9–4,2	1,42	0,57	44–48	23,94	9,61	1,08–1,11	6,22	2,50	20–25	41,66	16,72	5–10	25,5	10,1
4,2–4,5	8,96	3,60	48–52	53,29	21,39	1,11–1,14	21,56	8,65	25–30	12,82	5,15	10–15	26,6	10,5
4,5–4,8	14,60	5,86	52–56	11,54	4,63	1,14–1,17	44,48	17,85	30–35	12,18	4,89	15–20	20,0	8,1
4,8–5,1	29,04	11,66	56–60	4,42	1,77	1,17–1,20	16,30	6,54	35–40	6,76	2,71	>20	12,5	5,1
5,1–5,4	37,20	14,93	60–64	0,18	0,07	1,20–1,23	6,38	2,56	40–45	1,78	0,71	–	–	–
5,4–5,7	8,40	3,37	–	–	–	1,23–1,26	3,18	1,28	–	–	–	–	–	–

Следующий этап работы состоял в поиске педотрансферной модели для расчета функциональных показателей на основании базовых показателей. Результаты обработки и сами модели показаны на рис. 3. Они отражают достаточно явные закономерности между базовыми и функциональными показателями, то есть иллюстрируют выполнение важного условия для успешного построения педотрансферных моделей (Bouma, 1989; Shein and Archangelskaja, 2006).

Таблица 5

Предварительные нормативы оценки физических свойств посевного слоя почвы для обоснования интенсивности механической обработки*

Показатель в посевном слое	Качественная оценка обрабатываемого слоя	Рекомендации по интенсивности предпосевной обработки
Количество глыб, % < 5 5–15 > 15	Благоприятная Удовлетворительная Неудовлетворительная	Обработка не требуется Умеренная обработка Интенсивная обработка
Плотность сложения, г/см ³ : < 1,2 1,2 – 1,3 > 1,3	Благоприятная Удовлетворительная Неудовлетворительная	Обработка не требуется Умеренная обработка Интенсивная обработка
Твердость, кгс/см ² : < 20 20–30 > 30	Благоприятная Удовлетворительная Неудовлетворительная	Обработка не требуется Умеренная обработка Интенсивная обработка

*Нормативы пригодны для почв среднего и тяжелого гранулометрического состава.

Следующий этап работы состоял в поиске педотрансферной модели для расчета функциональных показателей на основании базовых показателей. Результаты обработки и сами модели показаны на рис. 3, 4 и 5. Они отражают достаточно явные закономерности между базовыми и функциональными показателями, то есть иллюстрируют выполнение важного условия для успешного построения педотрансферных моделей (Bouma, 1989; Shein and Archangelskaja, 2006).

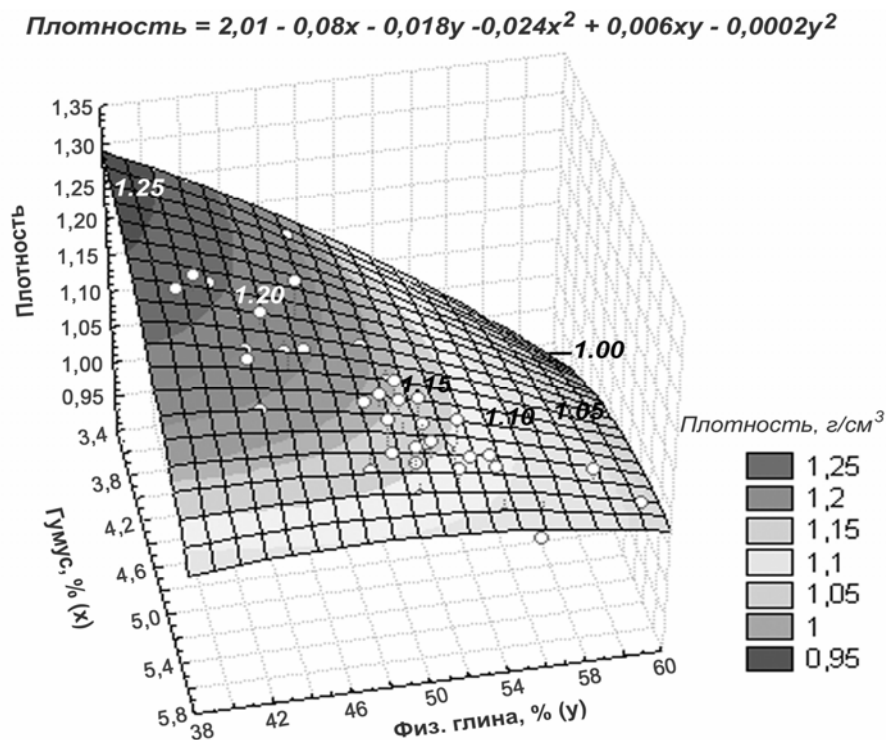


Рис. 3. Педотрансферная модель для расчета плотности

$$\text{Твердость} = 259,81 - 41,846x - 4,121y - 1,531x^2 + 1,093xy - 0,023y^2$$

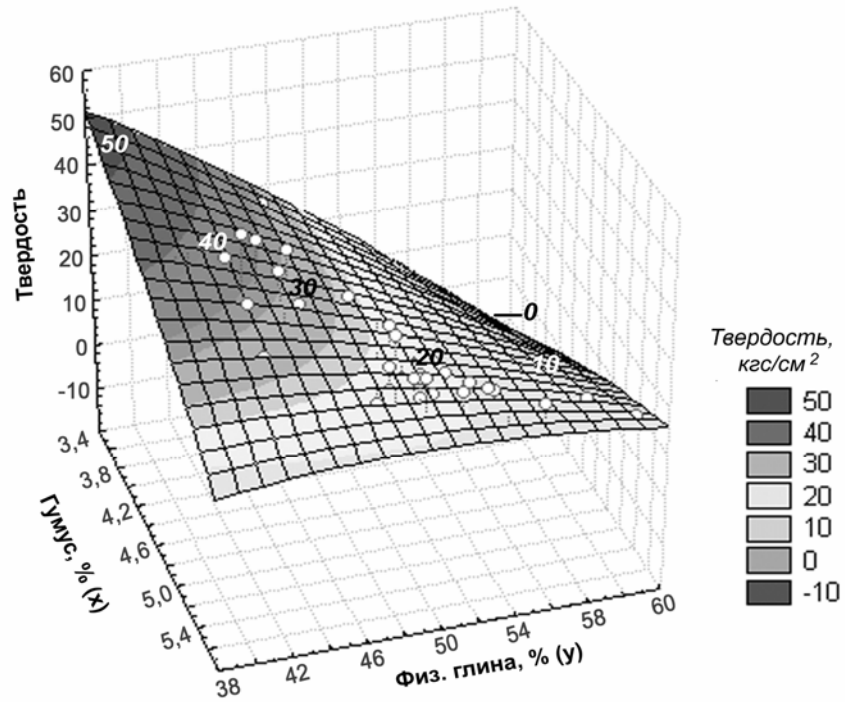


Рис. 4. Педотрансферная модель для расчета твердости

$$\text{Глыбы} = 343,538 - 112,4718 \cdot x - 1,4304 \cdot y - 6,8812 \cdot x^2 + 3,6278 \cdot x \cdot y - 0,1739 \cdot y^2$$

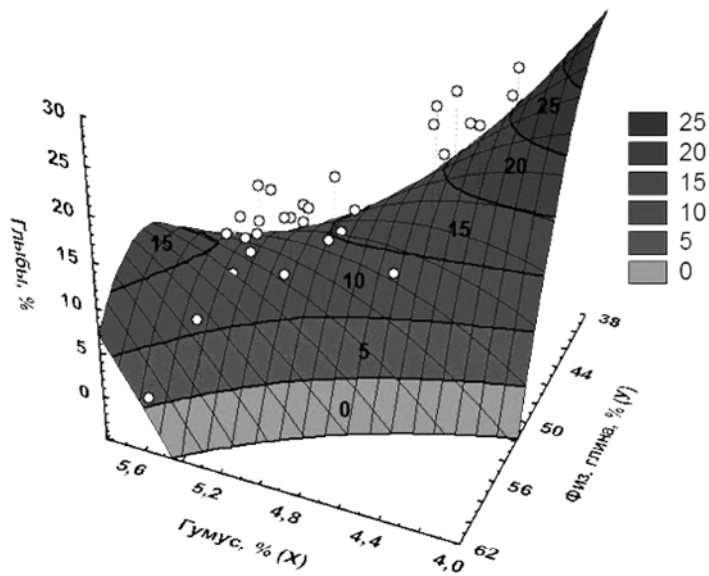


Рис. 5. Педотрансферная модель для расчета содержания глыб

Далее, используя модели и данные по определению содержания гумуса и физической глины в 20 дополнительно отобранных образцах, регулярно размещенных в исследованном поле, вновь построим 2-D-диаграммы и рассчитаем площади агротехнологических групп. Расчетные 2-D-диаграммы и площади поля, полученные в результате эксперимента и расчета, приведены соответственно на рис. 6 и в табл. 6.

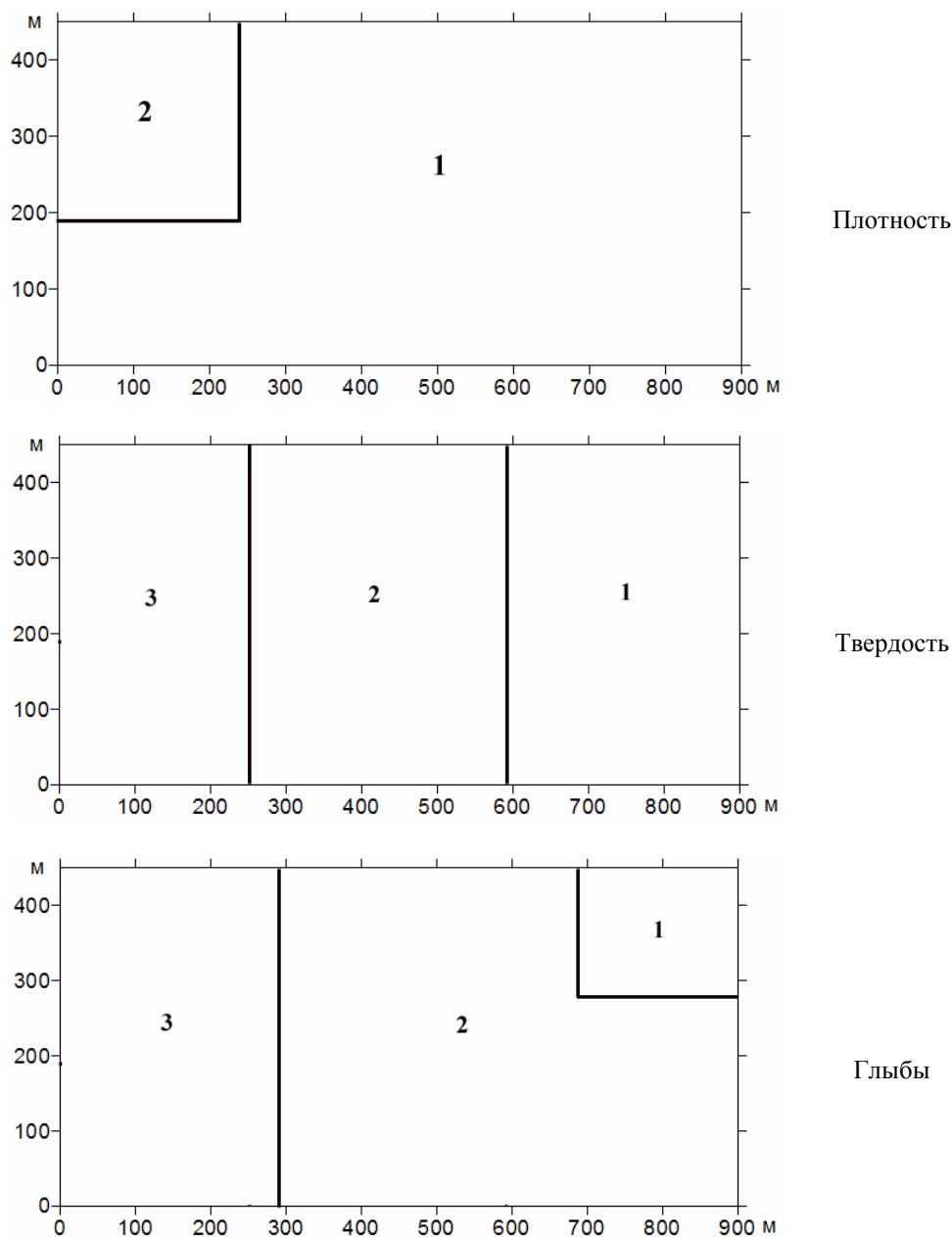


Рис. 6. Расчетные 2-D-диаграммы функциональных показателей:

- 1 – часть поля, не требующая обработки;
- 2 – необходимость в одной предпосевной культивации;
- 3 – необходимость в 2–3 культивациях либо роторной обработке

2-D-диаграммы равновесной плотности, твердости и глыбистости близки по локализации подобных показателей, но все же существенно отличаются по своей агрономической значимости. Так, плотность сложения поля практически на всем его пространстве не превышает критических величин (свыше 1,3 г/см³ для большинства выращиваемых культур) и поэтому данный показатель можно не использовать при решении вопроса о дифференцировании предпосевной обработки. Совершенно иные выводы необходимы в отношении других индикаторных показателей – и твердости, и глыбистости. Эти показатели таковы, что требуют обязательной корректировки на части поля. Поскольку наибольшая площадь, требующая корректировки, оказалась при использовании показателя глыбистости, то именно его и следует применять для окончательного выбора интенсивности предпосевной обработки. Заметим, что, согласно агрономическим требованиям к посевному слою, глыб в нем не должно быть вообще, так как они приводят к быстрому иссушению этого слоя и задерживают появление всходов (Technique of an estimation..., 1968). Правда, в почвоведении и земледелии существуют разночтения в отношении размерности глыб. В почвоведении глыбой считается комок диаметром более 10 мм, в земледелии – более 40 мм.

Таблица 6

Сравнение экспериментальных и расчетных площадей основных агротехнологических групп поля для проведения различной предпосевной обработки (по показателям содержания глыб, %), га

Экспериментальные площади групп			Расчетные площади групп		
1 (< 5)	2 (5–15)	3 (> 15)	1	2	3
6,2	20,6	13,2	3,4	22,2	14,4

Таким образом, выше изложенным продемонстрирована принципиальная возможность выделения на поле агротехнологических групп для проведения различных способов механической обработки, используя для этого педотрансферные модели, в которых базовым показателем является содержание гумуса и физической глины, а функциональными – равновесная плотность сложения, твердость и глыбистость. Полагаем, что такая задача была успешно решена, но что касается практической стороны вопроса, то возникает немало трудностей. Так, определение содержания гумуса и физической глины, к сожалению, ничуть не проще и еще затратнее, чем прямое измерение плотности, глыбистости и тем более твердости почвы. Даже при том условии, что элементарных проверочных делянок, как в нашем эксперименте, будет всего 20 вместо 45 исходных. Ведь подобные анализы требуют значительных затрат времени на отбор почвенных образцов, транспортировку их в лабораторию и дальнейших сложных подготовительных процедур до проведения непосредственного измерения. Из этого следует, что педотрансферное моделирование с указанной в статье целью может стать актуальным лишь при условии, что будут найдены иные, более простые и эффективные способы измерения базовых показателей, желательно в режимах *in situ* и *on-line*. В этом плане перспективными представляются дистанционные методы и метод лазерной дифрактометрии. Обзор новых методических средств измерения базовых показателей (по литературным данным) дан в работах (Hemmat et al., 2008; Feifei et al., 2010; Medvedev and Laktionova, 2011). Учитывая значительные перспективы точного земледелия, в том числе точной обработки почв, хотелось бы надеяться, что в ближайшее время новые бесконтактные способы измерения содержания гумуса и физической глины в почве будут разработаны.

ВЫВОДЫ

Обоснован метод выявления на поле контуров, различающихся по физическим свойствам в посевном слое, для проведения в них дифференцированной (точной)

обработки. Выбор интенсивности обработки (количества предпосевных культиваций) осуществляется в соответствии с нормативами (в исследованном поле – нормативами глубистости).

Для расчета предложены педотрансферные модели, базовыми компонентами в которых являются содержание гумуса и физической глины, а функциональными – плотность сложения, твердость и содержание глыб, принятые в качестве индикаторных для оценки физического состояния поля перед проведением предпосевной обработки.

Сравнение контуров, полученных экспериментальным путем, с контурами, рассчитанными с помощью моделей, дало удовлетворительные результаты.

Приведены аргументы в пользу интенсификации научных исследований для разработки бесконтактных методов измерения базовых показателей – физической глины и гумуса и, тем самым, ускоренного внедрения точных способов обработки почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Aniskevich, L. V., 2005.** Systemy keruvannia normamy vnesennia materialiv v tekhnolohiiakh tochnoho zemlerobstva [Control system norms of entering of materials in technologies of precise agriculture]. The author's abstract of the dissertation on competition of a scientific degree of Dr. Sci. Tech. : specialty 05.05.11 «Machines and mechanization of agricultural production». Kyiv. (in Ukrainian).
- Bouma, J., 1989.** Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*. 9, 177–213.
- Burov, D. I., 1969.** O nekotorykh voprosakh teorii obrabotki i ee prakticheskikh priemakh na chernozemnykh pochvakh yugo-vostoka RSFSR [About some questions of the theory of tillage and its practical ways on chernozems of South-East of RSFSR]. Theoretical questions of soil tillage. *Hydrometeoizdat, Leningrad*, 32–44 (in Russian).
- Dawson, C. J., 2006.** Implications of precision farming for fertilizer application policies. *Scientific news of National agriuniversity*. 101, 27–42.
- Feifei, P., Peters-Ligard, Ch. D., King, A. W., 2010.** Inverse method for estimating the spatial variability of soil particle size distribution from observed soil moisture. *Journal of Hydrologic Engineering*. 15, 11, 931–938.
- Geophysical methods for imaging soil compaction and variability of soil texture on farm land, 2006. H. Petersen, H. Fleige, W. Rabbel, R. Horn. *Advances in geoecology*. 38, 261–272.
- Gychka, M. M., 2005.** Distantionnoe zondirovanie v monitoringe pochvennykh sistem [The remote sending in soil system monitoring of the Ukraine]. *Visnyk ahrarnoy nauky*. 12, 72–75 (in Russian).
- Havrunkova, J., Godwin, R. J., Wood, G. A., 2006.** Ground remote sensing systems for determining canopy nitrogen in winter wheat. *International Soil Tillage Research Organisation 17th Triennial Conference* (Kiel, Germany, 2006). Kiel, ISTRO, 910–915.
- Hemmat, A., Adamchuk, V. I., Jasa, P., 2008.** Use of an instrumented disk coulter for mapping soil mechanical resistance. *Soil and Tillage Research*. 98, 2, 150–163.
- Medvedev, V. V., 2007.** Perspektivni instrumentalni metody vyvchennia gruntiv u rezhymakh in situ I on-line (za materialamy novitnikh publikatsiy) [Perspectives instrumental methods of soil investigation at modes in situ and on-line (for materials of newest publications)]. *Agrokhimiya i gruntoznavstvo*. 67, 10–18 (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., 2009.** Tverdost pochv [Soil penetration resistance]. The city printing house, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2013.** Fizicheskaia degradatsiia chernozemov. Diagnostika. Prichiny. Sledstviia. Preduprezhdenie [Physical degradation of chernozems. Diagnostics. The reasons. Consequences. The prevention]. The city printing house, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., 2011.** Granulometricheskij sostav pochv Ukrainy. Geneticheskij, ekologicheskij i agronomicheskij aspekty [Soil texture of Ukraine. Genetic, ecological and agronomical aspects]. *Apostrophe, Kharkiv* (in Russian).
- Medvedev, V. V., Lyndina, T. E., Laktionova, T. N., 2004.** Plotnost slozheniia pochv. Geneticheskij, ekologicheskij i agronomicheskij aspekty [Soil bulk density. Genetic, ecological and agronomical aspects]. 13 printing house, Kharkiv (in Russian).
- Metodyka otsenki kachestva polevykh rabot (agronomicheskij brakerazh), 1986 [Technique of an estimation of quality of field works (agronomical braking)]. *Ioshkar Ola* (in Russian).

Moore, M., 2002. The role of system «Fieldstar» and information technologies in a modern agriculture. The collection of proceedings of National agrarian university. «Mechanization of agricultural facilities». 11, 98–102.

Pozdnjakov, A. I., Pozdnjakova, A. D., 1983. Kolichstvennaia interpretatsiia dannykh vertikalnogo elektricheskogo zondirovaniia s primeneniem R-funktsii [Quantitative interpretation of data on soil vertical electric sounding with application of R-function]. Eurasian Soil Science. 10, 120–125 (in Russian).

Precision farming of cereal crops: a five-year experiment to develop management guidelines, 2002. Project Report 267. R. J. Godwin, R. Earl, J. C. Taylor, and other. London, HGCA.

Prokhorova, Z. A., 1980. Izuchenie neodnorodnosti svoystv dernovo-podzolistykh pochv, pestroty urozajnosti i svyazi mezhdru nimi [Studying of heterogeneity of soddy-podsolic soils, diversity of productivity and connections between them]. Theoretical bases and methods of definition of optimum parameters of soil properties. V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 104–118 (in Russian).

Razrabotka spetsializirovannogo oborudovaniia selskokhoziaystvennykh mashin dlia tekhnologiy tochnogo zemledeliia (rekomentatsii), 2003 [Development of the specialized equipment of agricultural machines for technologies of precise agriculture

(recommendation)]. D. G. Vojtjuk, L. V. Anishevich, V. P. Kovbasa, M. Z. Zelinsky. National agrarian univ. publ., Kyiv (in Russian).

Romanenkov, V. A., Larin, V. E., Lukin, S. M., 2006. Issledovanie protsessov, opredeliayuchshikh prostranstvennoe izmenenie plodorodiia pakhotnykh pochv dlia modelirovaniia urozajnosti [Research of the processes defining spatial change of soil arable fertility for modelling of productivity]. Modern natural and anthropogenous processes in soils and geosystems. V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 305–323 (in Russian).

Shein, E. V., Archangelskaja, T. A., 2006. Pedotransfernye funktsii: sostoianie, problemy, perspektivy [Pedotransfer function: stay, problems, perspectives]. Eurasian Soil Science. 10, 1205–1217 (in Russian).

Tochnoe zemledelie (analiticheskij obzor), 2001 [Precise agriculture (state-of-the-art review)]. V. P. Jakushev, R. A. Poluektov, E. I. Smoljar, A. G. Topaz. The agrochemical bulletin. 5, 28–33 (in Russian).

Truskavetskiy, S. R., 2006. Vykorystannia bahatospektralnogo kosmichnogo skanuvannia ta heoinformatsiinykh system u dosladzhenni gruntovoho pokryvu Polissia Ukrainy [Use of multispectral space scanning and geoinformation systems in research of Polyssija soil cover of the Ukraine]. The author's abstract of the dissertation of cand. biol. sci. : speciality 03.00.18 «Soil science». Kharkiv (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 02.09.2014

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Н. М. Цветкова