

Пространственото вариране на хидрологични показатели на почвата на ниво поле

Емил Димитров*, Милена Керчева

ИПАЗР „Никола Пушкиarov”, София, България

E-mail*: e.dimitrov7@gmail.com

Резюме

Целта на изследването е да се тестват и приложат педотрансферни хидрологични функции за оценка на пространственото вариране и картиране на хидрологичните показатели на хетерогенна по механичен състав почвена покривка в детайлен мащаб на ниво поле. Изследването е проведено в района на бившето опитно поле край с. Лозен, Софийско. Мрежата за пробовзимане се състои от 41 точки на площ от 1 km² върху обработваеми и необработваеми площи, покриващи в по-голямата си част Делувиално-ливадна и в отделни части Канелено-ливадна и Канелена-смолницовидна почви. Общият органичен въглерод варира от 0,7 до 2,5% в повърхностните (0-20 cm) слоеве, като средно е 1,3% в слоя 0-10 cm и 1,0% в слоя 10-20 cm. Максималните стойности са установени при площи, които са били необработваеми за достатъчно дълъг период от време. Данните от измерените стойности на водозадържането (W) при потенциал -33 kPa (W_{33}) и -1500 kPa (W_{1500}) в хоризонтите на четири почвени профила са използвани за тестване на педотрансферни функции от фракциите на механичния състав и съдържанието на органичния въглерод. Пределната полска влагоемност (W_{33}) се определя с най-голяма достоверност от съдържанието на глина (частици <0,002 mm, %) и органичен въглерод (%), а влажността на завяхване (W_{1500}) - само от съдържанието на глината. Изчислените стойности на W_{33} , W_{1500} и усвояемият воден капацитет ($W_{33} - W_{1500}$) на повърхностите слоеве в точките от мрежата на пробовзимане са използвани за картиране на тези показатели.

Ключови думи: педотрансферни хидрологични функции, механичен състав, общ органичен въглерод, пределна полска влагоемност, влажност на завяхване, усвояем воден запас, картиране в детайлен мащаб

Spatial variability of soil hydraulic properties at field scale

Emil Dimitrov*, Milena Kercheva

Institute of soil science, Agrotechnologies and Plant Protection “N. Poushkarov”, Sofia, Bulgaria

Corresponding author*: e.dimitrov7@gmail.com

Citation: Dimitrov, E., & Kercheva, M. (2021). Spatial variability of soil hydraulic properties at field scale. *Bulgarian Journal of Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, 55(2), 39-48.

Abstract

Hydraulic pedotransfer functions are tested and applied for estimation the spatial variability and mapping of soil water retention characteristics of soils with heterogeneous texture were estimated and mapped at field scale in the vicinity of Sofia. The monitoring grid consisted of 41 points regularly distributed on area of 1 km² comprised mainly of Deluvial meadow soil and partly of Cinnamonic meadow and Cinnamonic forest vertisol-like soils. The distances between the points of the grid were 100-200 m and covered cultivated and temporary non-cultivated area. The total organic carbon content ranged from 0.7 to 2.5% in 0-20 cm soil layer and was in average 1.3% in top 0-10 cm layer and 1.0% in 10-20 cm layer. The maximum values were associated with the areas not cultivated for more than 40 years. The data for soil moisture retention at suctions -33 kPa (W_{33}) and -1500 kPa (W_{1500}), soil textural fractions and organic carbon content measured in the horizons of 4 soil profiles were used to test pedotransfer functions. The best prediction for field capacity (W_{33}) was obtained using clay content (particles <0.002 mm, %) and total organic carbon content as predictors, while the wilting point (W_{1500}) depended only on the clay content. The estimated values of field capacity, wilting point and available water capacity of 0-20 cm soil layer in each grid point were used for preparing field maps for these soil hydraulic properties.

Key words: hydraulic pedotransfer functions, soil texture fractions, organic carbon, field capacity, wilting point, available water capacity, field scale maps

Въведение

Съдържанието на органичен въглерод е от значение освен за продуктивните, така и за други екологични функции на почвата, сред които е задържането и транспортирането на вода (Filcheva, 2007; Dilkova, 2014). Механичният състав на почвата и органичното вещество са сред основните показатели, от които зависи структурата и адсорбиращите свойства на почвата и оттам водозадържащата ѝ и водопроводящата ѝ способност. Резултатите от изследванията на различни автори върху влиянието на органичното вещество върху водозадържането при потенциали -33 kPa и -1500 kPa, които обикновено се приемат за пределна полска влагоемност и влажност на завяхване, не са еднопосочни (Rawls et al., 2003). Чрез методите на регресионните дървета и групиране на данните, Rawls et al. (2003) правят обстоен анализ на голям масив от данни (12000 проби) от Националната база данни за почвени характеристики на САЩ и данни от А хоризонти (111 проби),

получени при пилотни изследвания при един и същ механичен състав, но различен начин на земеползване (естествена растителност, традиционно земеделие и консервационни практики). Авторите достигат до следните заключения: връзката на водозадържането от органичното вещество е различна при почвите с различен механичен състав, като е по-силна при почви с лек механичен състав; ефектът на органичното вещество е по-силен върху водозадържането при потенциал -33kPa, отколкото при -1500 kPa; ефектът от промените в съдържанието на органичен въглерод (ОС) върху водозадържането в почвата зависи от разпределението на текстурните фракции и от количеството на органичен въглерод в почвата. При ниско съдържание на ОС, увеличаването му води до увеличаване на водозадържането в леките почви и намаляване на водозадържането в тежки почви, а при високо съдържание на ОС, увеличаването му води до увеличаване на водозадържането при всички класове механичен състав (Rawls et al., 2003). Авторите установяват еднаква точност на оценката на водозадържането,

получена по метода на регресионни дървета и по метода на групиране на данни с полиномни невронни мрежи. Подобни методи за оценка на основните хидрологични показатели на почвите в Европа са приложени от Toth et al. (2014), като методът на регресионните дървета е приложен в зависимост от текстурния клас на повърхностния и подповърхностния слой. Получените педотрансферни функции за различни по механичен състав почви в нашата страна от Kercheva & Dilkova (2005) също показват, че при леките почви пределната полска влагоемност зависи главно от съдържанието на хумус, а при по-тежките следва да се отчита съдържанието на ил (частици $<0,001$ mm). Следва да се отбележи, че за пределна полска влагоемност в тази зависимост е използвано водозадържането при потенциал -10 kPa, което се предпочита от някои автори (Dilkova, 2014).

Необходимостта от индиректни оценки на хидрологичните свойства на почвата възниква при картирането им на обширни територии. Такава информация може да се използва за нуждите на прецизно земеделие, моделиране на процесите във водосбори и други задачи, свързани с площни оценки на водния баланс.

За проследяване на промените в запасите на почвения ограничен въглерод под влияние на промени в климата и/или начина на земеползване е необходима информация за естественото му вариране. Обработваемите земи се характеризират с по-ниско съдържание на органичен въглерод, поради разрушаването на почвените агрегати и по-добрата аерираност на повърхностния слой, особено при сухи и топли климатични условия.

Целта на изследването е да се тестват и приложат педотрансферни хидрологични функции за оценка на пространственото вариране и картиране на хидрологичните показатели на хетерогенна по механичен състав почвена покривка в детайлен мащаб на ниво поле.

Материал и методи

Изследването е проведено на площ от 1 km² върху обработваеми и необработваеми

площи, покриващи в по-голямата си част Делувиално-ливадна и отчасти Канелено-ливадна и Канелено-смолниковидна почви в района на бившата експериментална база край с. Лозен, Софийско (Dimitrov, 2014). Почвените проби са взети с почвоведска сонда по слоеве през 10 cm дълбочина в географска мрежа от 41 точки, отстоящи на разстояние 100 и 200 m, и по хоризонти от 4 почвени профила в ненарушено състояние с пръстени от 100 cm³ и 200 cm³ и в нарушено състояние. Пробите в ненарушено състояние позволяват да се определи обемната плътност, кривите на водозадържане в зависимост от матричния потенциал и водопроводността в лабораторни условия.

Лабораторната процедура за определяне на механичния състав включва предварително диспергиране на въздушно суха, стрита и пресята през сито 2 mm, почвена проба (10 g) с натриев пиродифосфат (без третиране за отстраняване на органично вещество и карбонати); разделяне на фракциите пясък през серия сита и използване на пипетния метод за определяне на фракциите на праха и глината. Фракциите, които са определени дават възможност за построяване на кумулативна крива на разпределение на почвените частици по размери и за определяне на фракциите, необходими, както за класификацията на Katschinski (Katschinski, 1958) – физична глина ($<0,010$ mm), така и за американската класификация (Soil Survey Division Staff, 1993) – пясък ($2-0,05$ mm), прах ($0,05-0,002$) и глина ($<0,002$ mm).

Водозадържането при матричен потенциал -33 kPa е определено с капиляриметър с висящ воден стълб, на който се поставят предварително навлажнени почвени проби в ненарушено състояние в пръстени от 100 cm³. Водозадържането при матричен потенциал -1500 kPa е определено чрез използване на пресата на Ричардс след предварително навлажняване на стрити почвени проби в пръстени с височина 1 cm. Хигроскопичната влажност е определена на стрити почвени проби в ексикатори при контролирана с наситен

разтвор на NaCl относителна влажност на въздуха 75%. Коефициентът на филтрация е определен в лабораторни условия на проби в ненарушено състояние (пръстени 200 cm³) чрез измерване на скоростта на намаляващ воден стълб. Съдържанието на общия органичен въглерод (OC) е определено по модифициран метод на Turin (Kononova, 1963; Filcheva & Tsadilas, 2002).

Картирането на показателите, определени в точките от мрежата, е осъществено с програма ArcGis Desktop10, като се използва векторният файл с координатите на точките и свързаната с тях атрибутна таблица с данни за изследваните показатели. Изчертаването на изолинии е осъществено с приложение Geostatistical Analyst. В настоящото изследване е използван метода на обратно на разстоянието претегляне (Inverse Distance Weighting - IDW).

С измерените данни за водозадържането при матричен потенциал -33 kPa и -1500 kPa в четирите профила са тествани няколко педотрансферни функции (PTF) и правила (PTR) за индиректната им оценка:

- PTF_local: Коефициентите в линейните регресионни уравнения $W_{33} = f(Cl, OC)$ и $W_{1500} = f(Cl)$ са определени чрез използване на измерените данни в четирите почвени профила; OC и Clay е съдържанието органичен въглерод и глина (частици <0,002 mm);

- PTR_US: правила, получени с метода на регресионните дървета за базата данни на САЩ, за определяне на водозадържането θ_{33} и θ_{1500} (в обемни %) в зависимост от текстурния клас и съдържанието на органичен въглерод и глината (Rawls et al., 2003);

- PTR_EU: правила, получени с метода на регресионните дървета за базата данни на Европа, за определяне на θ_{33} и θ_{1500} (в обемни %) в зависимост от текстурния клас за повърхностния (top soil) и подповърхностния слой (sub soil) (Toth et al., 2014);

- PTF_EU: регресионни зависимости за θ_{33} и θ_{1500} (cm.cm⁻³), получени за Европейската база данни (Toth et al., 2014):

$$\theta_{33} = 0,2449 - 0,1887 * (1/(OC+1)) + 0,004527 * Clay + 0,001535 * Si + 0,001442 * Si * (1/$$

$$(OC+1)) - 0,00005110 * Si * Clay + 0,0008676 * Clay * (1/(OC+1))$$

$$\theta_{1500} = 0,09878 + 0,002127 * Clay - 0,0008366 * Si - 0,07670 * (1/(OC+1)) + 0,00003853 * Si * Clay + 0,002330 * Clay * (1/(OC+1)) + 0,0009498 * Si * (1/(OC+1))$$

Точността на изчислените стойности са оценени чрез среднаквадратична разлика (RMSD – root mean square distance), средно отместване (MBE – mean bias error) и относителна грешка (RE, %):

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N}$$

$$RE\% = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\bar{x}} \times 100\%$$

където n е броят на измерванията, \bar{x} и \bar{y} са средните стойности на измерените и изчислените стойности на водозадържането.

Резултати и обсъждане

Изследваният участък се характеризира със значителна хоризонтална хетерогенност по отношение на механичния състав на почвата (фигура 1). Детайлен статистически анализ на това вариране е публикуван в предишни изследвания на колектива (Dimitrov, 2014, Dimitrov et al., 2014a, b). Коефициентите на вариация (Cv) на пясъка, праха и глината в повърхностния 10-20 cm слой са 39%, 13% и 17%, съответно. Анализираните 41 проби от тази дълбочина попадат в 6 класа по Soil Taxonomy, от които два класа съдържат само по един случай (таблица 1). В останалите класове сравнително високо остава варираното на трите фракции при текстурен клас Clay

Loam (21%, 14%, 11%) и значително намалява в класовете Clay (17%, 6%, 7%) и Silty Clay (12%, 6%, 8%).

Съдържанието на органичен въглерод (OC) в слоя 0-10 cm е 1,3% и е с 30% по-високо от съдържанието в следващия слой 10-20 cm (таблица 1). Варирането на OC в повърхностния 0-10 cm е малко по-голямо ($C_v=21\%$) в сравнение с 10-20 cm слой ($C_v=17\%$). Общият органичен въглерод (OC) показва отклонение от нормалното разпределение в 0-10 cm слой, докато в 10-20 cm слой разпределението на данните от мрежата на пробовземане е нормално (Dimitrov, 2014). Отклонението се дължи на стойности на общия органичен въглерод над 1,65% (хумус 2,8%), което е близо до границата между средно и високо хумусните почви. Седемте участъка, които са с високо съдържание на общ органичен въглерод са: ябълкова градина (точка 32: OC=2,5%), тревна асоциация (точки 1, 8, 9, 27, 34: OC=1,7÷2,5%) и паркова растителност (точка 41, OC=1,7%) (фигури 1 и 2). Точките с високо съдържание на OC се намират при необработваеми условия вероятно за дълъг период от време. Разделянето по текстурни класове не влияе върху варирането на OC (таблица 1).

Исходните данни от четирите профила за тестване на методите за определяне на водозадържането при потенциали -33 kPa и -1500 kPa са представени в таблица 2. Включени са и данни за коефициента на филтрация (Kf) в два от профилите. При Делувиално-ливадната почва, Kf е висок (18 cm.hr^{-1}) в повърхностния слой и намалява до много нисък ($0,0074 \text{ cm.hr}^{-1}$) в A_2 хоризонт, а при Ливадно-канелената, филтрационната способност е от средно висока до висока ($1\div 10 \text{ cm.hr}^{-1}$). Увеличената уплътненост на почвата в дълбочина на профил 1 води до промяна в състава на органичното вещество, което се проявява в увеличаване на дела на хуминовите киселини (Shishkov et al., 2011, Dimitrov, 2014).

Установени са коефициентите в линейните регресионни уравнения (PTF_local) между измерените стойности на W_{33} и W_{1500} (в тегловни %) и съдържанието на глина (Clay)

и органичен въглерод (OC) в 4-те почвени профила (таблица 2):

$$W_{33} = -5,87 + 0,539 * \text{Clay} + 8,267 * \text{OC} \quad R^2 = 0,86, \quad \text{SEE} = 1,8\%$$

$$W_{1500} = -2,44 + 0,45 * \text{Clay} \quad R^2 = 0,92, \quad \text{SEE} = 0,8\%$$

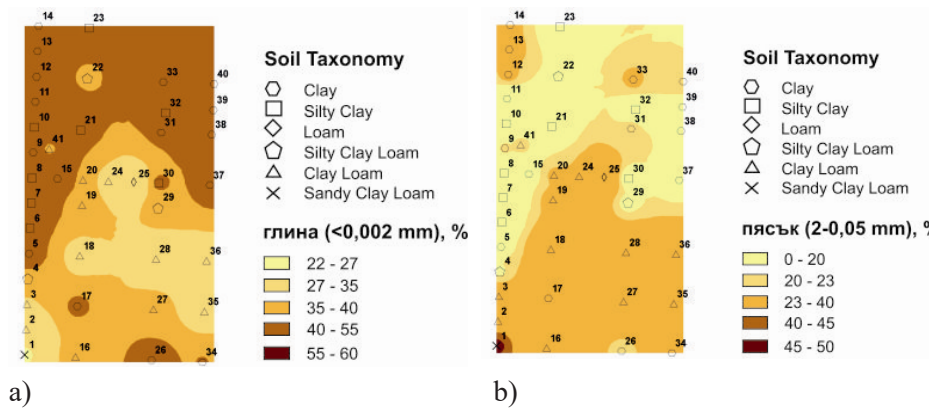
Приложението на PTF_local, както и на предложените методи от Rawls et al. (2003) (PTR_US) и Tóth et al. (2014), съответно PTR_EU и PTF_EU, за изчисляване на водозадържането при потенциали -33 kPa и -1500 kPa, показва много добра съпоставимост и точност на оценките, както по отношение на измерените данни, така и между отделните методи (таблица 3). Следва да се отбележи, че цитираните резултати на Rawls et al. (2003) и Tóth et al. (2014), въпреки използването на големи масиви от данни и прилагането на метода на регресионните дървета, но с известни различия (посочени по-горе при описанието им), получават различни оценки за някои текстурни класове. Например за клас Clay, Rawls et al. (2003) са определили с PTR_US стойност на $\theta_{33} = 42,6\% \text{ vol.}$, а Tóth et al. (2014) за същия клас $\theta_{33} = 37,3\% \text{ vol.}$ Тези различия се отразяват в оценката на θ_{33} , получена с PTR_US и PTR_EU в изследвания участък.

Двете педотрансферни процедури (PTR_EU и PTF_EU), препоръчани за почвите в Европа от Tóth et al. (2014), водят до съизмерими средни стойности и диапазон на вариране на изследваните хидрологични показатели. Усвояемият воден капацитет ($\theta_{33} - \theta_{1500}$) в слоя 0-20 cm в изследваният участък е средно $13\% \text{ v/v}$, а пространственото вариране е $C_v = 9-10\%$, което е значително по-малко от това, което се получава с другите два метода - PTF_local ($C_v = 19,4\%$) и PTR_US ($C_v = 26,9\%$).

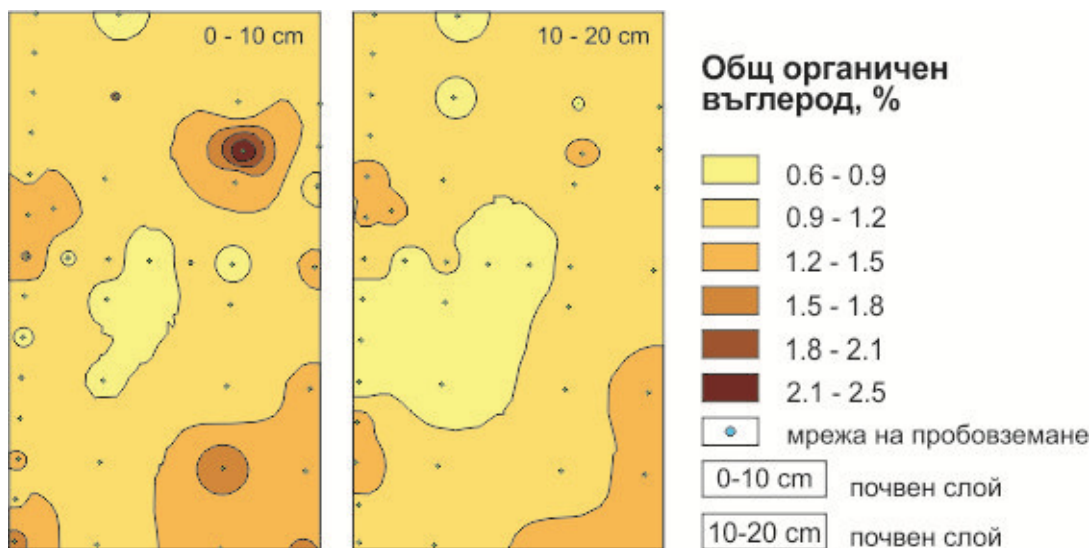
Изчисленото водозадържане по всички методи в повърхностните слоеве от точките в мрежата средно е по-ниско от изчисленото в четирите профили. Хидрологичните показатели в точките от мрежата, които се получават с PTF_local са в тегловни проценти и при превръщането им в обемни проценти с използване на данните за обемната плътност от изследваните профили показват по-ниски

стойности от останалите методи. Това може да се обясни с механичния състав (Clay и Clay Loam) на почвените профили, с които са получени и тествани зависимостите, докато в мрежата има (макар и по-малко от половината случаи) участъци и с по-леки разновидности, което може да влияе върху обемната плътност и върху валидността на PTF_{local}.

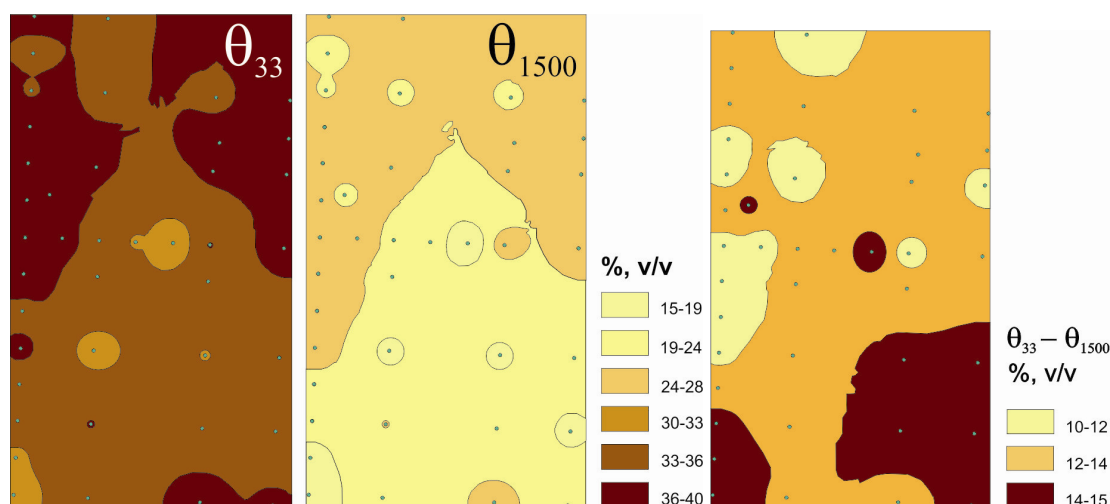
Въпреки необходимостта от валидиране на PTF_{EU} за по-широк набор от почвени разновидности и съдържание на органичен въглерод, за картиране на хидрологичните показатели в настоящото изследване са използвани регресионните уравнения на Tóth et al. (2014) (фигура 3).



Фиг. 1. Мрежа на пробовземане и карти на съдържанието на глина (а) и пясък (б) в 10-20 cm слой
Fig 1. Sampling grid and maps of clay (a) and sand (b) content in 10-20 cm soil layer



Фиг. 2. Карти на съдържанието на общ органичен въглерод в 0-10 cm и 10-20 cm слой
Fig. 2. Maps of total organic carbon content at 0-10 cm and 10-20 cm soil layers



Фиг. 3. Карти на водозадържането (θ , %v/v) при потенциали -33 kPa (пределна полска влагоемност) и -1500 kPa (влажност на завяхване), изчислени чрез педотрансферните функции, изведени от Евпореиската база почвени данни - PTF_EU (Tóth et al., 2014) и карта на усвояем воден капацитет ($\theta_{33} - \theta_{1500}$) в слоя 0-20 cm

Fig. 3. Maps of soil water retention (θ , %v/v) at potentials -33 kPa (field capacity) and -1500 kPa (wilting point) and available water capacity ($\theta_{33} - \theta_{1500}$) in the 0-20 cm layer calculated by the pedotransfer functions obtain from the European soil database - PTF_EU (Tóth et al., 2014)

Таблица 1. Съдържание на основни механични фракции (пясък, прах, глина), хигроскопична влажност (Wh_{75}) и общ органичен въглерод (OC) в повърхностните почвени слоеве (0-10 cm и 10-20 cm), осреднени за всеки текстурен клас. Средна стойност \pm стандартно отклонение. В скоби - минимална и максимална стойност. n - брой случаи.

Table 1. Average content of textural fractions (sand, silt and clay), hygroscopic soil water content (Wh_{75}) and total organic carbon (OC) in 0-10 cm and 10-20 cm soil layers, calculated for each textural class. Mean \pm standard deviation. In brackets – minimum and maximum values. n - number of observations.

Текстурен клас USDA Texture class USDA	n	Пясък Sand %	Прах Silt %	Глина Clay %	Wh_{75} %		OC %	
					0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Loam	1	43	36	22	4.0	3.8	1.3	0.7
Sandy Clay Loam	1	48	27	26	4.2	4.2	1.7	1.0
Clay Loam	12	30 \pm 6 (22÷39)	37 \pm 5 (27÷46)	34 \pm 4 (29÷40)	5,1 \pm 0,5 (4,5÷6,3)	5,0 \pm 0,5 (4,1÷6,1)	1,3 \pm 0,3 (0,9÷1,8)	1,0 \pm 0,2 (0,7÷1,3)
Silty Clay Loam	3	19 \pm 1 (18÷20)	42 \pm 2 (41÷44)	39 \pm 1 (38÷40)	5,9 \pm 0,3 (5,6÷6,2)	5,9 \pm 0,2 (5,7÷6,1)	1,3 \pm 0,1 (1,1÷1,4)	1,0 \pm 0,2 (0,9÷1,2)
Clay	16	21 \pm 4 (14÷26)	36 \pm 2 (31÷39)	43 \pm 3 (40÷51)	5,9 \pm 0,6 (5,2÷7,1)	6,1 \pm 0,5 (5,4÷7,2)	1,3 \pm 0,2 (1,0÷1,7)	1,0 \pm 0,1 (0,8÷1,3)
Silty Clay	8	13 \pm 2 (11÷15)	43 \pm 3 (40÷47)	44 \pm 3 (41÷49)	6,3 \pm 0,4 (5,8÷6,9)	6,5 \pm 0,5 (5,8÷7,2)	1,4 \pm 0,5 (1,0÷2,5)	1,0 \pm 0,2 (0,8÷1,2)
Общо Total	41	23 \pm 9	38 \pm 5	39 \pm 7	5,7 \pm 0,7	5,7 \pm 0,8	1,3 \pm 0,3	1,0 \pm 0,2

Таблица 2. Текстуроопределящи механични фракции (пясък, прах, глина), съдържание на органичен въглерод (OC), обемна плътност, пределна полска влагоемност (W_{33}), влажност на завяхване (W_{1500}) и коефициент на филтрация (Kf) на изследваните почвени профили.

Table 2. Soil textural fractions (Sand, Siltm Clay), total organic carbon (OC), bulk density, field capacity (W_{33}), wilting point (W_{1500}) and hydraulic conductivity of the studied profiles

Хори- зонт Horizon	Дълбо- чина Depth cm	Пясък Sand 2-0,05 mm	Прах Silt 0,05- 0,002 mm	Глина Clay <0,002 mm	OC %	Обемна плътност Bulk Den- sity g.cm ⁻³	W_{33} % w/w	W_{1500} % w/w	Kf cm.hr ⁻¹
Профил 1. Делувиално-ливадна почва. Тревна растителност. Profile 1. Deluvial meadow soil. Grass association									
A _h	0-3				3,0	1,13	32,7	18,9	18
A ₁	3-11	15,2	39,6	45,2	1,56	1,28	31,4	18,6	9
	11-19	14,1	37,8	48,1	0,93	1,44	25,9	17,5	
A ₂	19-56	14,5	38,4	47,1	0,78	1,54	23,4	17,6	0,0074
AC ₁	56-98	24,0	32,7	43,3	0,69	1,55	23,0	16,7	2
AC ₂	98-124	28,5	32,4	39,1	0,53	1,61	21,4	15,6	28
Профил 2. Делувиално-ливадна почва. Дървесна растителност Profile 2. Deluvial meadow soil. Forest park									
Ah ₁	0-3	21,3	42,2	37,0	2,71	1,03	35,3	19,1	
Ah ₂	3-14	23,4	38,0	39,5	1,39	1,21	30,3	16,2	
A ₁	14-31	22,5	39,6	38,6	0,82	1,49	21,9	15,0	
A ₂	31-59	25,5	34,6	41,4	0,83	1,50	23,3	15,5	
AC ₁	59-103	23,5	31,7	46,1		1,57	21,8	17,3	
AC ₂	103-120	27,7	32,2	41,5		1,59	20,6	16,1	
Профил 3. Средно излужена Ливадно канелена почва. Временно необработваема нива. Profile 3. Medium leached Cinnamonic meadow soil (Haplic Cambisol (Eutric, Clayic) (IUSS Working Group WRB, 2006), Temporary non cultivated field									
Ap ₁	0-6	23,9	36,8	39,6	1,77	1,20	30,4	15,9	0,8
Ap ₂	6-17	26,0	33,7	40,7	1,14	1,47	22,9	15,2	1,4
AB	17-36	24,5	32,9	43,3	0,89	1,42	23,5	17,3	
B ₁	36-69	27,3	29,4	44,2	0,76	1,44	23,5	16,7	
B ₂	62-94	31,1	28,4	40,3		1,47	22,0	15,6	9,8
B _{Сk}	94-115	36,0	27,9	37,9		1,51	21,1	14,7	
C _k	115-125	29,5	28,9	42,8		1,48	22,5		
Профил 4. Силно излужена канелена горска, смолницовидна почва. Обработваема нива. Profile 4. Strongly leached Cinnamonic forest, vertisol-like soil. Bathycalcic Vertisol (Eutric, Pellic) (IUSS Working Group WRB, 2006). Arable land									
Ap ₁	0-10	17,0	36,2	46,8	1,50	1,06	33,6	18,2	
	10-18				1,19				
Ap ₂	18-24	16,5	33,3	50,1	1,10				
A ₁	24-30	15,6	27,9	56,5	1,05				
	30-40				1,03	1,30	31,7	24,1	
A ₂	50-79	17	36,2	46,8		1,32	31,2	24	
Bi ₁	79-96	16,1	29,6	54,3		1,38	29,3	23,1	
B _{k3}	106-146	14,3	30,6	55,1		1,44	26,8	21,7	
B _{Сk}	146-160	14,0	31,2	54,8		1,44	24,7	20,7	

Таблица 3. Средни стойности (\pm стандартни отклонения) на влажността на почвата в тегловни (W, %w/w) и в обемни (θ , %v/v) проценти, при матричен потенциали -33 kPa и -1500 kPa, измерени и изчислени чрез педотрансферни функции и правила (PTF_local, PTR_US, PTR_EU, PTF_EU) в хоризонтите на четирите профила (n=16) и изчислени за повърхностния 0-20 cm слой в точките от мрежата (n=41).

Table 3. Mean (\pm standard deviation) of soil moisture content per mass (W, %w/w) and volume (θ , %v/v) in percentages, retained at potentials -33 kPa and -1500 kPa, measured and calculated by pedotransfer functions and rules PTF_local, PTR_US, PTR_EU, PTF_EU) in the horizons of the studied profiles (n=16) and calculated for the surface 0-20 cm layer at the grid points (n=41)

Показател Parameter	Измерени Measured %w/w	Измерени Measured %v/v	PTF_local %w/w	PTR_US %v/v	PTR_EU %v/v	PTF_EU %v/v
Почвени профили 1÷4 Soil profiles 1÷4						
W_{33}, θ_{33}	27,6 \pm 4,8	36,8 \pm 3,0	27,6 \pm 4,6	39,6 \pm 4,7	36,7 \pm 0,9	37,2 \pm 2,0
RMSE			1,68	5,22	2,71	1,74
MBE			0,02	2,8	0,0	0,5
RE, %			0,1	7,6	-0,1	1,3
W_{1500}, θ_{1500}	18,2 \pm 3,0	25,7 \pm 4,0	18,2 \pm 2,9	25,0 \pm 2,7	26,4 \pm 3,4	26,8 \pm 3,5
RMSE			0,81	2,49	2,85	2,24
MBE			0,03	-0,6	0,7	1,2
RE, %			0,18	-2,5	2,8	4,5
Мрежа от 41 точки, 0-20 cm Grid of 41 points, 0-20 cm						
W_{33}, θ_{33}			25,1 \pm 4,1	37,3 \pm 5,3	36,2 \pm 2,1	35,8 \pm 2,2
W_{1500}, θ_{1500}			15,3 \pm 3,0	22,6 \pm 2,9	23,1 \pm 2,7	23,0 \pm 3,1
AWC			9,9 \pm 1,9	14,7 \pm 4,0	13,1 \pm 1,4	12,6 \pm 1,3

Заклучение

Проведеното изследване представя статистически и геостатически подходи за оценка и визуализиране на хоризонталното вариране на съдържанието на органичен въглерод и основни хидрологични показатели на хетерогенни по механичен състав почви в детайлен мащаб. Варирането на органичния въглерод в изследвания участък се дължи основно на начините на земеползване. Тестването на новите хидрологични педотрансферни функ-

ции, разработени за Европа (Tóth et al., 2014), показва добра точност при изследваните тежки, по механичен състав, почви. Необходими са допълнителни изследвания за валидиране на тази методология за нашата страна при по-широк набор от почвени различия с различен механичен състав и съдържание на органичен въглерод. Картирането на изследваните показатели е необходимо при избор на мониторингови точки за проследяване на промените в тези почвени свойства, при избора на агротехнологични решения за прецизно земеделие и при модели-

ране на процесите на обмен на вещества и енергия на големи територии.

Литература

Dilkova, R. (2014). *Structure, physical properties and aeration of Bulgarian soil*. PSSE. Sofia (Bg).

Dimitrov, E. (2014). *Spatial temporal variability of soil physical properties across the scales*. Dissertation, Sofia, Bulgaria (Bg).

Dimitrov, E. & Kercheva, M. (2014b). Assessment of spatial variation of soil texture fractions on field level. *J. Balkan Ecology*, 17(1), 43-72.

Dimitrov, E., Kercheva, M., & Shishkov, T. (2014a). Reference values and variability of soil physical characteristics of Deluvial Meadow soil in region of Sofia. *J. Balkan Ecology*, 17(1), 29-42.

Filcheva E. (2007). *Ecological role of soil organic matter (SOM) and its significance for expert conclusions*. Poni, Sofia (Bg).

Filcheva E., & Tsadilas, C. (2002). Influence of clin-iptilolite and compost on soil properties. *Commun. Of Soil Sci. and Plant Analysis*, 33(3-4), 595-607

IUSS Working Group WRB. (2006). *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. Rome, FAO.

Katschinski, N.A. (1958). *Soil particles and micro-aggregates composition, methods for analysis*. USSR Academy of sciences. Moscow (Ru).

Kercheva, M. & Dilkova, R. (2005). Bulk density as indicator of soil aeration conditions. In: *Management, use and protection of soil resources* 15-19 May, 2005, 264-270.

Kononova, M. (1963). *Soil organic matter*. AN SSSR, Moskva (Ru).

Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116, 61-76.

Shishkov, T., Filcheva, E., Dimitrov, E., & Kercheva, M. (2011). Soil organic matter in clayey soils from intermountain valley of Sofia city. *Bulgarian Journal of Soil Science, Agrochemistry and Ecology*, XLV(1-4), 45-50

Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture, Handbook 18.

Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, & G., Tóth, G. (2014). New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *European Journal of Soil Science*, doi: 10.1111/ejss.12192.