

УДК 631.417.1:528.9

Створення національної карти запасів органічного вуглецю в ґрунтах України

І.В. Пліско*, О.М. Бігун, В.В. Лебедь, С.Г. Накісько, Ю.В. Залавський

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 28.04.2018 Отримано після доопрацювання 05.06.2018 Затверджено до друку 06.08.2018 Доступно онлайн 01.10.2018 <i>Ключові слова:</i> <i>ґрунтовий органічний вуглець; дані; карта; цифрове картографування; Глобальне ґрунтове партнерство; ГГП.</i>	У статті представлено поетапний процес побудови національної карти запасів органічного вуглецю, створеної за сприяння Глобального ґрунтового партнерства (ГГП) відповідно до вимог Угоди між організацією з продовольства і сільського господарства при Організації Об'єднаних Націй (ФАО) та ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського». Детально описано методику збирання та обробки даних, підготовки допоміжних растрових шарів і просторового моделювання відповідно до цифрової методології картографування ґрунтів. Дані, репрезентативні для представлення різноманітності ґрунтового покриву країни на карті, зібрано з 16 дослідних і наукових установ. Екологічні складові, які використано для просторового моделювання, охоплювали більшість чинників, що впливають на розподіл вуглецю: тип ґрунту, материнська порода, рельєф, клімат, біомаса і тип землекористування. Для поліпшення прогнозування використано супутникові знімки високої роздільної здатності в інфрачервоному спектрі. Моделювання розподілу SOC виконано з використанням методу Random Forest, що дозволило створити карту з допустимою похибкою для обраної методології. Представлено першу національну карту запасів ґрунтового органічного вуглецю у верхньому 0-30 см шарі ґрунту з високою роздільною здатністю (1 км x 1 км), яку було інтегровано в Глобальну карту ґрунтового органічного вуглецю (GSOC).

*E-mail: irinachujan@gmail.com

1. Вступ

Національну карту запасів органічного вуглецю в ґрунтах України створено за сприяння Глобального ґрунтового партнерства (ГГП) відповідно до вимог Угоди між організацією з продовольства і сільського господарства при Організації Об'єднаних Націй (ФАО) та Національним науковим центром «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Карту розроблено відповідно до загальних принципів ГГП з використанням технологій цифрового картографування та моделювання ґрунтів. Надалі її було інтегровано до Глобальної карти вмісту ґрунтового органічного вуглецю як складову частину Глобальної ґрунтово-інформаційної системи, створення якої передбачено в рамках одного із ключових напрямів діяльності ГГП, який зорієнтовано на збільшення кількості та підвищення якості ґрунтових даних та інформації про ґрунти [1,2].

Для узгодженої роботи з розробки національних карт вмісту органічного вуглецю спеціалістами ГГП, а саме, Міжурядовим технічним комітетом з питань ґрунтів ГГП, до складу якого входять 27 фахівців 7-ми регіональних партнерств, підготовлено керівні принципи для спільного використання національних даних для складання Глобальної карти вмісту органічного вуглецю в ґрунтах [1]. У документі викладено основні вимоги до атрибутивних даних, які мають використовуватися для побудови національної карти вмісту ґрунтового органічного вуглецю з наступною інтеграцією до Глобальної карти, наведено формули обрахунку запасів органічного вуглецю у різних ґрунтах (для створення цифрової карти запасів ґрунтового органічного вуглецю) та описано способи опрацювання зібраної інформації технологіями цифрового картографування та моделювання. У документі також надано рекомендації щодо обрахунку запасів органічного вуглецю, наприклад, для мінеральних ґрунтів слід враховувати каменістість товщі ґрунту, у ґрунтах під лісами – вміст та запаси органічного вуглецю у лісовій підстилці. Вказано, що обрахунок запасів органічного вуглецю у торфовищах повинен проводитись із урахуванням глибини торфового шару. При цьому джерелами інформації для колекціонування національних даних та складання національних карт можуть бути результати польових обстежень ґрунтів та національні ґрунтові бази даних. Наголошено, що національні координаційні центри повинні забезпечити збирання та опрацювання інформації, а також її делегування до Глобальної карти органічного вуглецю.

2. Джерела інформації й особливості збирання даних

2.1. База даних «Властивості ґрунтів України»

Збирання даних для створення карти було проведено у декілька етапів, першим з яких була інвентаризація даних у базі даних (БД) «Властивості ґрунтів України» [3]. З кінця 90-х років минулого століття співробітники лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» ведуть роботи з формування означеної БД. Атрибутивна БД, яка включає повну характеристику умов ґрунтоутворення, класифікаційні характеристики ґрунтів та параметри основних властивостей (всього 112 показників) для 2050 ґрунтових профілів у межах України. БД належить до реляційного типу (тобто, інформацію, що вміщується в БД, організовано в окремих електронних таблицях), керування БД (створення вибірок, формування запитів) здійснюється системою, яку виконано у середовищі розробки систем баз даних Microsoft Visual FoxPro, що включає об'єктно-орієнтовану реляційну СУБД, об'єктно-орієнтовану мову програмування для розробки додатків баз даних і систему побудови звітів.

Спочатку було створено вибірки даних, які відповідали умовам та критеріям запиту. Формування запиту й одержання його результату у вигляді вибірки даних із вищезначеної СУБД включало такі кроки: визначення необхідного переліку властивостей ґрунтів (полів БД) для вирішення поставленої задачі; визначення умов або меж зміни параметрів властивостей ґрунтів (відповідних полів); уведення цих умов у відповідному інтерфейсному вікні СУБД; виведення результатів запиту на екран з наступним збереженням цієї інформації у файлі даних необхідного формату з метою подальшого аналізування у табличному чи графічному вигляді. Відповідно до завдання було сформовано запит «Створити набір даних для побудови цифрової карти вмісту ґрунтового органічного вуглецю та цифрової карти запасів ґрунтового органічного вуглецю у шарі 0-30 см із описом даних відповідно до вимог ГГП», визначено критерії застосування запитів до інформації у БД та порядок формування вибірки у СУБД. До запиту було також залучено показники (вміст гумусу та сума гранулометричних фракцій < 0.01 мм), які є необхідними для обрахунку параметрів щільності будови ґрунту за педотрансферним рівнянням, розробленим для ґрунтів України [4].

Джерелами інформації для наповнення БД «Властивості ґрунтів України» слугували матеріали великомасштабного ґрунтового обстеження 1957-1961 рр., матеріали об'єднані у довіднику агрофізичних властивостей ґрунтів Степу Української РСР [5], наукові звіти лабораторії геоєкофізики ґрунтів, дисертаційні роботи виконані в ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», особисті архіви дослідників-ґрунтознавців з різних наукових установ. Відповідно до опису джерел інформації в електронній таблиці № 8 БД «Властивості ґрунтів України» [3], масив даних охоплює результати різноманітних польових ґрунтових обстежень, проведених у період 1955-2012 рр. Близько 60 % наявних даних у сформованій основній вибірці із БД – це результати обстежень ґрунтового покриття країни, проведених до 1990 року, біля 9 % – у період 1990-2010 рр. та 31 % - після 2010 року.

2.2. Інші джерела інформації

Наступним етапом робіт було організовано збирання додаткової інформації щодо польових досліджень вмісту органічного вуглецю (ОВ) у різних регіонах України. З цією метою було розроблено первинні електронні форми для заповнення даних, які було спрямовано до наукових установ та вищих учбових закладів. Всього до створення національної карти органічного вуглецю, крім лабораторій ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського, долучилися наукові установи НААН (Інститут рису, Інститут сільського господарства Карпатського регіону, Кіровоградська державна сільськогосподарська дослідна станція, Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція ННЦ «Інститут землеробства НААН», Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН», Волинська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту сільського господарства Західного Полісся, Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН), НАН (Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького) та вищі навчальні заклади (Житомирський національний агроекологічний університет, Львівський національний університет ім. Івана Франка, Львівський національний аграрний університет, Харківський національний університет ім. В.В. Докучаєва та Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова).

Основними джерелами даних для створення карти слугували дані ґрунтових обстежень підрозділів ННЦ "ІГА імені О.Н. Соколовського" – 3665 точок (88.6 %), наукових установ Національної академії аграрних наук України – 54 точки (1,3 %), вищих навчальних закладів – 334 точки (8.1 %) і лабораторії лісового ґрунтознавства УкрНДІЛГА НАН – 84 точки (2 %).

В цілому, до бази даних Глобальної карти органічного вуглецю ФАО було делеговано 4137 точок (в тому числі 1121 точка із БД «Властивості ґрунтів України»), забезпечених інформацією щодо: вмісту та запасів органічного вуглецю, вмісту фізичної глини, параметрів щільності будови ґрунту, координатної прив'язки, із зазначенням типу та назви ґрунту та його розташування на основних формах рельєфу, з додатковими характеристиками для торфовищ щодо заболоченості та типу рослинного покриву, для ґрунтів під лісами – за типами лісорослинних умов, інформацією щодо способів відбирання проб ґрунтів на визначення вмісту органічного вуглецю, типу землекористування, методів та способів визначення показників ґрунтів (щільності будови, вмісту органічного вуглецю, каменястості), датами відбирання проб ґрунтів, способів розрахунку запасів органічного вуглецю, даними про авторів поданих даних та джерела інформації.

3. Методика обробки даних і побудови електронної карти

3.1. Ґрунтовий покрив

Створення карти органічного вуглецю здійснено за декількома етапами. Відповідно до методології цифрового картографування ґрунтів [6] було побудовано растр незалежних ландшафтних складових. Основні параметри, які були використані, засновані на S.C.O.R.P.A.N-моделі і включали в себе: ґрунт, клімат, живі організми і рослинний покрив, рельєф, материнську породу, вік ландшафту, просторове розміщення. Для включення цих параметрів у модель, було створено декілька растрів шляхом цифрування ґрунтової карти, обробки супутникових зображень і даних щодо рельєфу.

Для встановлення характеристик ґрунтів і ґрунтових контурів було проведено цифрування карти ґрунтів України масштабу 1:750000 (за ред. М.К. Крупського, 1975), яка побудована на даних великомасштабного ґрунтового обстеження 1957-1961 рр. і включає 7026 полігонів. До кожного з полігонів в електронній карті прикріплено відомості про ґрунти та їх властивості: тип і підтип ґрунту, гранулометричний склад, материнська порода, тип і ступінь оглеєння, тип і ступінь засолення; каменястість. Цифрування й упорядкування електронного графічного матеріалу виконано співробітниками ННЦ ІГА К.В. Вяткіним і О.І. Шерстюком.

3.2. Висота місцевості

Для встановлення абсолютних висот денної поверхні завантажено комірки матриці висот Глобальної моделі рельєфу GMTED 2010 [7]. З даної цифрової моделі отримано параметри рельєфу за допомогою програмного забезпечення SAGA GIS 3.0 [8], що включають ухил, поздовжню кривизну, кривизну поперечного перерізу рельєфу, індекс топографічної зволоженості, експозицію схилів, закриті зниження рельєфу [9].

3.3. Рослинний покрив

Характеристики рослинного покриву території спиралися на дані дистанційного зондування Європейського Космічного Агенства (European Space Agency's CCI) з роздільною здатністю 300 м [10]. За типами рослинності виокремлено вісім категорій: рілля, луки і чагарники, широколисті ліси, хвойні ліси, змішані ліси, антропогенні (техногенні) території, території з відкритим ґрунтом. На карті органічного вуглецю водні об'єкти та антропогенні (техногенні) території не враховували і не виділяли.

3.4. Використання супутникових знімків

Супутникові дані було взято зі знімків із спектральних сенсорів MODIS. У ході робіт використано два джерела від зйомки даними сенсорами: MOD13Q1: MODIS / Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 mGridSIN006 [11] – для мозаїки растрів у ближньому інфрачервоному діапазоні, NDVI і EVI растри; MOD17A3H: MODIS / Terra Net Primary Production Yearly L4 Global 500 mSINGridV006 [12] – для растру первинної продуктивності.

Попередні дослідження показали, що ближній інфрачервоний (ІЧ) діапазон (NIR), за відкритої поверхні ґрунту, має велику залежність від вмісту органічного вуглецю (ОВ) у ґрунті [13]. Поля в Україні зазвичай не зайняті рослинністю навесні і восени, залежно від посівів. Найкращим місяцем для спостереження за "відкритим" ґрунтом обрано квітень. Для мозаїки растрів використовували зображення за останні 5 років, а саме, 2012-2016 рр. З огляду на особливості використаних даних MOD13Q1, всього було обрано 40 зображень для території України. Створення растру ближнього ІЧ-діапазону для відкритого ґрунту зроблено з використанням мови програмування R.

Для моделювання впливу рослинності на ОВ у ґрунті, розраховано середні значення індексів рослинності NDVI і EVI за березень-жовтень 2012-2016 рр. (300 зображень), з урахуванням надійності кожного зображення. Додатково з використанням MOD17A3H розраховано масив даних середньої первинної продуктивності рослинності впродовж 2000-2014 рр.

3.5. Отримання кліматичних даних

Ключовим фактором, що визначає характеристики ґрунтів України, на думку деяких українських вчених [14], є гідротермічний коефіцієнт (ГТК), який представляє собою відношення кількості опадів (R) в мм у період із середньою температурою повітря вище 10° С до суми температур (Σt) за той самий період. Для оцінки цього параметру зібрано дані 137 метеорологічних станцій, розташованих на території всієї України. Середньорічні значення за 100 років спостережень (1890-1990 рр.) розраховано для опадів протягом року, опадів у теплий період (травень-вересень), суми температур у теплий період (травень-вересень). Використовуючи ці дані розраховували значення ГТК для кожної метеостанції. Створено шари растрів для опадів, температури і ГТК шляхом інтерполяції значень точок спостережень методом зворотно-зважених відстаней (33В). Додатково завантажено растри у Grid-форматі WorldClimateData [15] з роздільною здатністю 1 км за середньою місячною температурою і опадами за 1960-1990 рр. Для результатуючих растрів використано шари температур та опадів за теплий і холодний періоди року, та ГТК. Наступним кроком було об'єднання даних метеостанцій з даними Світового Клімату для кращої якості кліматичних шарів. Виконавці роботи – співробітники відділу ґрунтових ресурсів В.Б. Соловей і В.В. Лебедь.

3.6. Додаткова інформація

Як додаткові змінні для моделювання завантажено шари із даних ISRIC Soil Grids 250 m [16]: запаси ОВ, вміст гранулометричної фракції < 0.01 мм і щільність будови. Під час навчання співробітників інституту з картографування органічного вуглецю (6-23 червня 2017 року, Вагенінген, Нідерланди), організованого ISRIC – World Soil Information під керівництвом секретаріату Глобального ґрунтового партнерства, надано додаткові набори растрів. З цих даних було відібрано 48 растрів, а також додаткові дані, підготовлені спеціалістами ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» (К.В. Вяткін, Ю.В. Залавський) для використання у моделюванні. Оскільки дані щодо рельєфу та супутникові знімки мали роздільну здатність 250 м і краще, використано шаблон ISRIC Soil Grids 250 m [16] для всіх шарів.

4. Методика просторового моделювання

Просторове моделювання виконано за допомогою мови програмування R з використанням програмного забезпечення Rstudio. Точкові дані завантажено у програму та протестовано для пошуку повторів і відсутніх значень, в результаті чого 203 точки видалено як дублікати.

Аналіз розподілу даних показав, що значення запасів ОВ для мінеральних і торфових ґрунтів дуже відрізнялися. Висока концентрація ОВ у торфових ґрунтах яскраво контрастувала з низькими концентраціями сусіднього мінерального ґрунту через різницю у процесах накопичення вуглецю і дію різних факторів. Крім того, наявні дані про запаси ОВ для торфових ґрунтів мали значення для повної потужності торфу, тоді як для мінеральних ґрунтів стандартною глибиною був верхній 0-30 см шар ґрунту. У результаті дані були розподілені на дві групи: мінеральні і торфові ґрунти, а також опрацьовано окремі моделі для кожної групи. Після коригування 3792 точки були класифіковані як мінеральні, 139 – як торфові ґрунти. Аналіз гістограм запасів ОВ у мінеральних ґрунтах дозволив виявити зразки з надзвичайно високими (нереальними або помилковими)

значеннями, які в результаті досліджень було видалено з вибірки.

Надалі створено матрицю регресії, використовуючи для цього значення точок з даними ОВ з допоміжних растрів. У разі, коли один тип ґрунтів, присутній на цифровій ґрунтовій карті, не збігався з відповідним типом ґрунту, зазначеним в БД, перевагу було віддано точковим даним через можливу неточність та узагальнений характер карти. Категоріальні змінні в матриці: тип ґрунту, материнська порода і тип рослинності, були перетворені з чисельного у тип даних факторів. Для просторового моделювання розподілу запасів ОВ у мінеральних ґрунтах використано алгоритм Random Forest. Для моделювання просторового розподілу ОВ для торфових ґрунтів використано створення шару запасів ОВ та отримання остаточного варіанту карти (Рис.).

На остаточній карті відображено прогнозовані значення запасів ОВ в ґрунтах України з роздільною здатністю 1 км, де чітко простежуються збагачені на вуглець ґрунти Чорноземної зони.

Найменші ж значення є характерними для піщаних підзолистих ґрунтів зони Українського Полісся на півночі та посушливої Зони Сухого Степу на півдні країни [17].

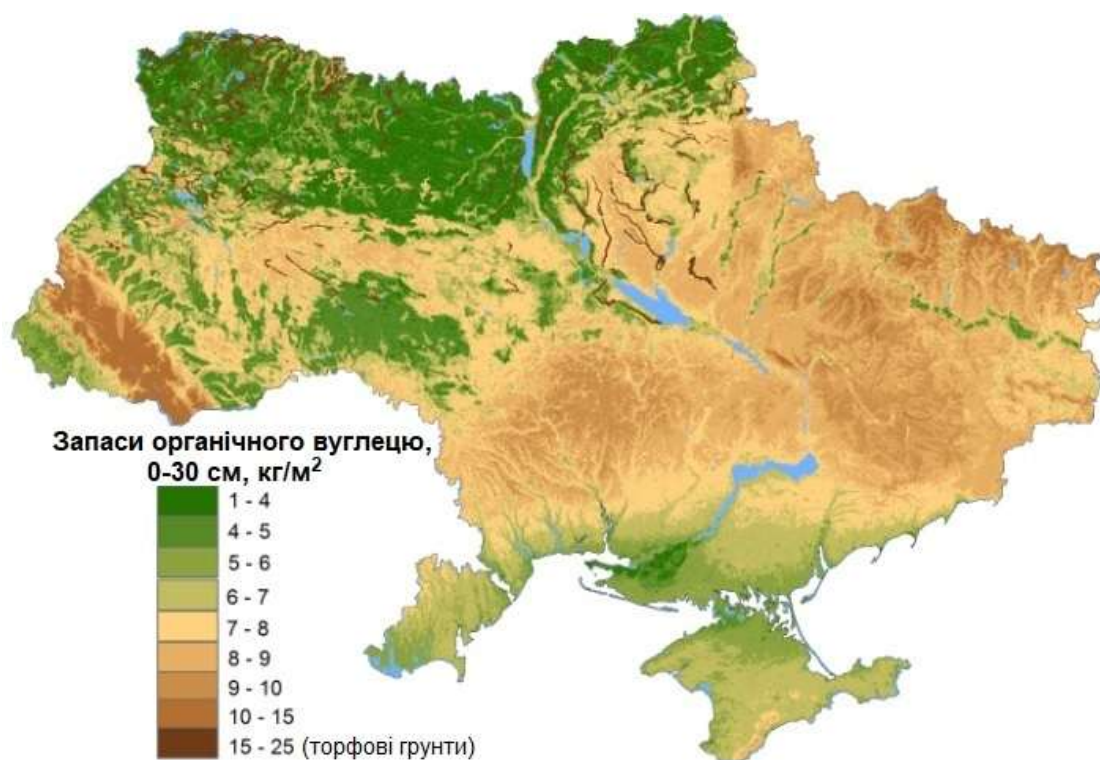


Рис. Карта запасів ґрунтового органічного вуглецю у шарі 0-30 см (кг/м²)

Помітним є вплив орографічного фактору (на гірських територіях). У цілому, результат отриманої моделі виправдав очікування стосовно вмісту ОВ. Встановлено, що найбільш важливими параметрами у моделі є: тип ґрунту, клімат і коефіцієнт відбивної здатності відкритого ґрунту в ближньому ІЧ-діапазоні.

Національну карту ґрунтового органічного вуглецю України було інтегровано в Глобальну карту ґрунтового органічного вуглецю за підтримки Секретаріату ГГП разом із внеском інших країн. Незважаючи на мінливість вихідних даних і методології, що використовують різні країни для створення своїх карт, Глобальна карта показує безперервність у просторовому розподілі між Україною та сусідніми країнами, що доводить адекватність і надійність отриманих результатів.

Подяка. Автори статті висловлюють щиру подяку всім науковим установам і науковцям - провайдерам даних (назви організацій перелічено у п. 2.2) і розробникам методики і виконавцям робіт (прізвища вказано у п. 3 і 4), завдяки зусиллям яких стало можливим створення електронної карти запасів ґрунтового органічного вуглецю для території України.

Список використаної літератури

1. GSP Guidelines for sharing national data/information to compile a Global Soil Organic Carbon map (GSOC17) FAO, 2016. url: <http://www.fao.org/3/a-bp164e.pdf>.
2. Global Soil Partnership <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/>
3. База даних «Свойства почвы Украины» (структура и порядок использования). /Т.Н. Лактионова, В.В. Медведев, К.В. Савченко [и др.]. Изд. 2-ое дополненное. Харьков: Цифрова друкарня №1, 2012. 150 с.
4. Медведев В.В., Пліско І.В., Бізун О.М. Досвід педотрансферного моделювання у дослідженнях фізики ґрунтів. Вісник аграрної науки. 2015. № 1. С. 17-24.
5. Гаєрик П.А. Справочник агрофизических свойств почв Степи Украинской ССР. Х.: Ротапринт Укрґрипроводхоз, 1981. 205 с.
6. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On Digital Soil Mapping. *Geoderma*. 2003. 117. P. 3-52.
7. U.S. Geological Survey. URL: <https://www.usgs.gov>
8. Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Boehner J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
9. Guisan A., Weiss S.B., Weiss A.D. GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 1999. 143: 107-122.
10. The European Space Agency (ESA) (<http://www.esa/landcover/cci.org>).
11. Didan K. 2015. MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>.
12. Running S., Mu Q., Zhao M. 2015. MOD17A3H MODIS/Terra Net Primary Production Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006. [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A3H.006>.
13. Трускавецький С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриття Полісся України: автореф. дис. на здобут. наук. ступеня канд. біол. наук. Харків, 2006. 25 с.
14. Полупан М.І., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України / УААН; ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського» / М.І. Полупан (ред.). Київ: Аграрна наука, 2005. 300 с.
15. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. /R.J. Hijmans, S.E. Cameron, J.L. Parra [et al.]. *Parra International Journal of Climatology*. 25: .2005. 1965-1978. DOI: 10.1002/joc.1276
16. SoilGrids250m: global gridded soil information based on Machine Learning. / T. Hengl, J. Mendes de Jesus. B.M. Heuvelink [et al.] 2017. G PLOS ONE 12(2): e0169748. doi: 10.1371/journal.pone.0169748. eCollection 2017.
17. Полупан М.І., Величко В.В., Соловей В.Б. Розвиток українського агрономічного ґрунтознавства: генетичні та виробничі аспекти: моногр.; /за ред. М.І. Полупана. Київ: Аграрна наука, 2015. 400 с.

UDC 631. 417.1:528.9

Creation of a national map of organic carbon stocks in the soils of Ukraine

I.V. Plisko*, O.M. Bihun, V.V. Lebed, S.G. Nakisko, Yu.V. Zalavskyi

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine

*E-mail: irinachujan@gmail.com

The article presents a step-by-step process of building a national organic carbon stock map, which created with the Global Soil Partnership (GSP) assistance in accordance with the requirements of the Agreement between the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the NSC "ISSAR named after O.N. Sokolovsky". It is described in detail the method of data collection and processing, preparation of auxiliary raster layers and spatial modeling in accordance with the digital methodology of soil mapping. The data, representative of the country soil cover on the map were collected from 16 research and scientific institutions. The ecological components which used for spatial modeling encompass most of the factors that influence the distribution of carbon, such as the type of soil, parent rock, relief, climate, biomass, and land use. Satellite images of high resolution in the infrared spectrum have been used to improve prediction. Simulation of the SOC distribution was performed using the Random Forest method, which allowed creating a map with permissible error for the chosen methodology. The first national map of soil organic carbon stocks in the upper layer thickness 0-30 cm was presented in high-resolution (1 km x 1 km) and integrated into the Global Soil Organic Carbon Map (GSOC).

Keywords: soil organic carbon; soil data; map; digital soil mapping; Global Soil Partnership, GSP.