

## **АГРОМЕТЕОРОЛОГІЯ**

УДК 551.509 + 528.235 (477)

О.О. Кривошеїн

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОДНОВИДОВИХ АГРОЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ЗА МАСШТАБОМ ГРУНТОВИХ КАРТ**

Визначено ступінь деталізації ґрунтового покриву для здійснення агрометеорологічного моніторингу умов вирощування і формування врожайності сільськогосподарських культур на основі CGMS у межах адміністративних областей та районів України.

**Ключові слова:** ґрунтова карта, масштаб, моделювання, продуктивність посівів, CGMS.

#### **Вступ**

На сьогоднішній день у системах моніторингу стану сільськогосподарських посівів важливим чинником, окрім метеорологічних та фенологічних умов, є ґрунтовий покрив. Тому його вплив у системах моделювання продуктивності є досить суттєвим. Через це, у разі використання ґрунтового чинника в моделі, необхідною є його інформативна деталізація, ступінь якої залежить від поставленої мети дослідження.

**Метою дослідження** цієї статті є визначення ступеня деталізації ґрунтового покриву України для використання в системі CGMS на загальнодержавному, регіональному та районному рівнях.

CGMS (Crop Growth Monitoring System) – це система моніторингу умов росту і розвитку сільськогосподарських культур та прогнозування їхньої врожайності. Ця система дозволяє оцінювати в динаміці вплив агрометеорологічних умов на продукційний процес та формування врожайності основних сільськогосподарських культур. На сьогоднішній день ця система використовується в більшості країн Європи як методична основа для здійснення агрометеорологічного моніторингу формування врожайності сільськогосподарських культур. Система CGMS була адаптована для використання на території України Українським науково-дослідним гідрометеорологічним інститутом (УкрНДГМІ) та

Українським гідрометцентром (УкрГМЦ). Система CGMS реалізується на трьох аналітичних рівнях. Перший рівень – оцінка метеорологічних умов, що здійснюється з метою виявлення агрометеорологічних особливостей періоду вегетації рослин за даними спостережень гідрометеорологічних станцій України. Другий рівень – моделювання продукційного процесу рослин, метою якого є моніторинг стану культур та їх продуктивності за відповідних метеорологічних умов. Третій рівень – прогнозування врожайності культур з різною завчасністю впродовж вегетаційного періоду [1].

Дана система дозволяє проводити моніторинг та отримувати прогнозні значення врожайності широкого кола сільськогосподарських культур. Схема адаптації для всіх культур однакова і вона включає наступні етапи: створення бази даних, калібрування моделі продукційного росту рослин, проведення чисельних експериментів й оцінку достовірності змодельованих параметрів продуктивності. Однією з переваг даної системи є включення до розрахункової системи ґрунтового чинника.

У цілому, врахування властивостей ґрунтів певної території в системі CGMS здійснюється за двома напрямками. За першим напрямком основні фізико-хімічні параметри ґрунтів використовуються при моделюванні продукційного процесу рослин. За другим – властивості ґрунтового покриву враховуються, здійснюючи просторову прив'язку розрахунків до елементарних територіальних одиниць, які вважаються умовно однорідними за природними та адміністративними ознаками [1].

Зважаючи на вже зроблені в статті [3] висновки та узагальнення, можна відзначити невирішені складники загальної проблеми деталізації характеристик ґрунтового покриву України, а саме, визначення ступеня цієї деталізації для оптимального використання ґрунтових особливостей в розрахунковій моделі.

Базу даних CGMS про властивості ґрунтів Європейського континенту створено на основі ґрунтової карти масштабу 1:5 000 000. До ознак, за якими виділяються типологічні ґрунтові групи, належать такі: експозиція схилу, гранулометричний склад ґрунту, потужність гумусного горизонту, вологостійкість, вміст солей і лугів, дренажна здатність. Використання обмеженої кількості класифікаційних ознак ґрунтів та досить широких діапазонів їх мінливості вважається допустимим для вирішення завдань агромоніторингу в межах великих за площею

територій (континенту, окремої країни) [2]. Водночас, такий підхід зумовлює досить значне узагальнення властивостей ґрунтового покриття в межах мезомасштабних територій (адміністративних областей, адміністративних районів чи їх частин). Це, насамперед, нівелює місцеві особливості росту і розвитку сільськогосподарських культур, зумовлені неоднорідністю ґрунтового покриття, що призводить до зменшення точності змодельованих параметрів продуктивності посівів та прогностичних показників урожайності.

У зв'язку з цим постало завдання щодо збільшення детальності інформації про ґрунтовий покрив України в базі даних CGMS та визначення оптимального ступеня цієї деталізації для вирішення поставлених цілей.

Для того, щоб показати значимість масштабу ґрунтової карти, яка використовується в системі CGMS при виділенні елементарних ґрунтових одиниць, доцільним буде описати процес агрегації, що змальовує загальний показник продуктивності для території адміністративного району (області).

#### **Агрегація показників продуктивності посіву**

У системі CGMS для моделювання продукційного процесу використовується динамічна точкова модель WOFOST. Для того, щоб за нею отримувати достовірні показники продуктивності культур у межах території великого масштабу (країни, області тощо), необхідно цю територію диференціювати на таксони, умовно однорідні за характеристиками метеорологічних умов, властивостей ґрунтів, належності до певної адміністративної одиниці. За такого підходу змодельовані індикатори продуктивності певної сільськогосподарської культури є репрезентативними для однорідної територіальної одиниці і відрізняються від характеристик продуктивності цієї культури за відмінних метеорологічних і ґрунтових умов. Крім того, оскільки параметри продуктивності використовуються в статистичній підсистемі прогнозування врожайності, то вони повинні бути узагальнені і на рівні адміністративних одиниць.

У розрахунковій схемі CGMS використовуються такі таксономічні одиниці:

GRID – таксономічна одиниця з однорідними кліматичними (погодними) умовами, геометричним центром якої є вузол регулярної кліматичної сітки;

STU (Soil Typological Unit) – таксономічна одиниця невеликої площі із однорідним ґрунтовим покривом (за генетико-морфологічними і агрогідрологічними властивостями);

SMU (Soil Mapping Unit) – таксономічна одиниця із відносно однорідним ґрунтовим покривом, яка об'єднує декілька подібних між собою STU;

NUTS – (Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques) – адміністративні територіальні одиниці:

NUTS-0 – рівень держави;

NUTS-1 – макрорівень (адміністративна область);

NUTS-2 – субрегіональний рівень (адміністративний район).

EMU (Elementary Mapping Unit) – елементарна одиниця картографування, яка є результатом поєднання всіх розглянутих таксонів і в межах якої моделюються параметри продуктивності посівів сільськогосподарських культур (рис. 1).

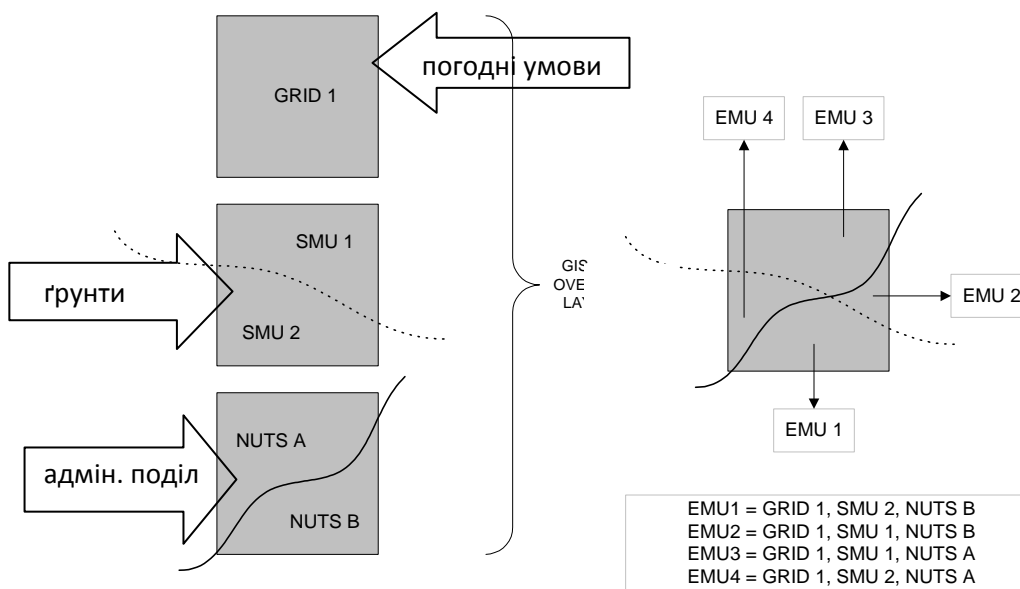


Рис. 1. Схема виділення елементарних одиниць картографування (EMU)

Щодекадно параметри продуктивності сільськогосподарських культур, розраховані для кожної EMU, агрегуються на рівні кліматичних

гридів і адміністративних територіальних одиниць (районів, областей, країни). За оцінкою просторового розподілу характеристик продуктивності культур в межах досліджуваної території можуть бути виявлені регіональні особливості формування врожайності цих культур та розроблені певні рекомендації щодо регулювання виробничого процесу. Метод об'єднання (агрегації) окремих EMU у ґриди (GRID) базується на врахуванні вагового показника кожної EMU в межах даного ґрида. Ваговий показник EMU визначається за відношенням площі ґрунтів, придатних для вирощування тієї чи іншої культури в межах даної EMU, до загальної площі придатних ґрунтів для цієї культури в межах всього ґрида (по всіх EMU).

Об'єднання змодельованих параметрів продуктивності культури на адміністративних територіальних рівнях здійснюється за цими ж принципами. Зокрема, для території адміністративного району агрегований показник продуктивності визначається за формулою:

$$Y_{N2} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{E,i} Y_{E,i}}{\sum_{i=1}^n A_{E,i}} \quad (1)$$

де  $Y_{N2}$  – показник продуктивності культури в межах адміністративного району;  $Y_E$  – змодельовані показники продуктивності в межах EMU;  $A_E$  – площа EMU;  $n$  – кількість EMU в межах адміністративного району.

За формулою (1) також можуть бути визначені агреговані показники продуктивності посівів сільськогосподарських культур і на інших територіальних рівнях – адміністративної області чи країни в цілому [1, 2].

### **Моделювання параметрів продуктивності сільськогосподарських посівів з використанням у системі CGMS карт масштабу 1:5 000 000, 1:2 500 000 та 1: 200 000**

Після детального опису принципу виділення елементарних картографічних одиниць та подальшої агрегації на їх основі показників продуктивності посівів в межах адміністративних одиниць, можна зробити висновок, що значення цих показників прямо залежать від кількості виділених EMU в межах одного ґриду на основі ґрунтового покриття. Тобто, чим детальніше викладено інформацію щодо ґрунтового

покриву, тим більше ґрунтових одиниць враховується в ході виділення ЕМУ, що забезпечує диференційований підхід до врахування характеристик ґрунтів при моделюванні продукційного процесу сільськогосподарських культур і при визначенні середніх зважених показників врожайності. Звідси постає питання: до яких меж необхідна деталізація? Зрозуміло, що чим дрібніша ґрунтова карта, тим більше елементарних картографічних одиниць буде виділено при моделюванні продукційного процесу, але чи необхідно враховувати всі ґрунтові одиниці певної території, використовуючи дуже дрібні за масштабом ґрунтові карти, якщо середньозважений показник урожайності в результаті не буде суттєво (або взагалі не буде) відрізнятися від того ж самого показника, отриманого в ході менш детального використання ґрунтової інформації (тобто, середньомасштабних ґрунтових карт)?

Для того, щоб дати на нього відповідь, проведено дослідження, яке пов'язане з використанням різних за масштабом ґрунтових карт (1 : 5 000 000, 1 : 2 500 000, 1 : 200 000) під час виділення елементарних картографічних одиниць і подальшого моделювання параметрів продуктивності та їх агрегації на різних адміністративних рівнях.

Принцип порівняння просторової диференціації ґрунтів відносно трьох вищевказаних за масштабом карт було апробовано на прикладі Черкаської області (рис. 2-4).

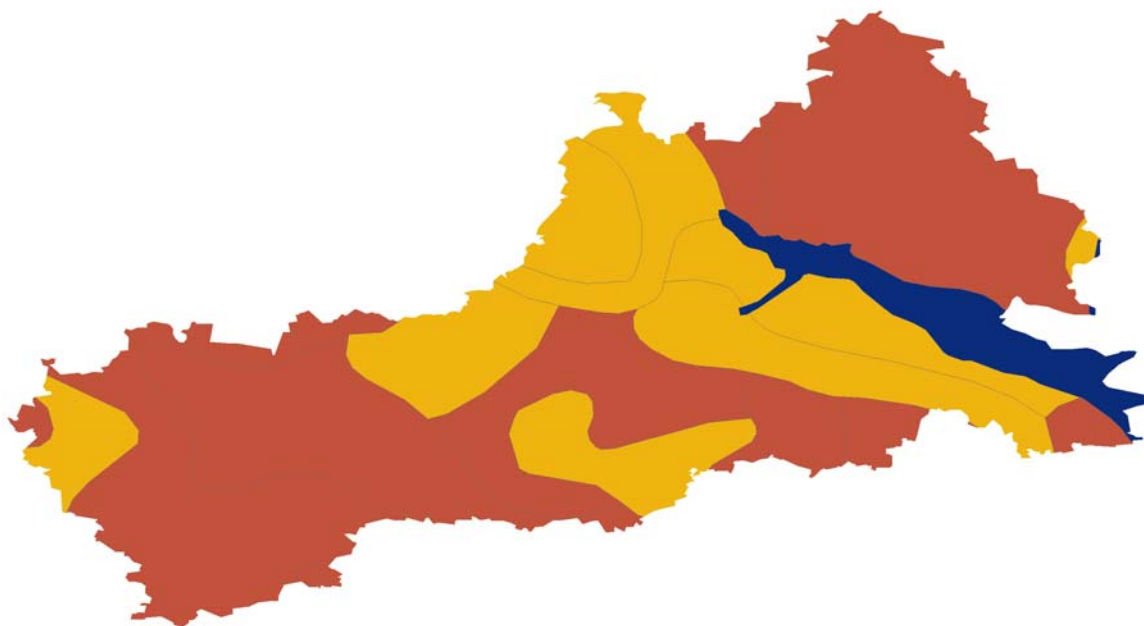


Рис. 2. Ґрунтова карта Черкаської області в масштабі 1 : 5 000 000 [6]

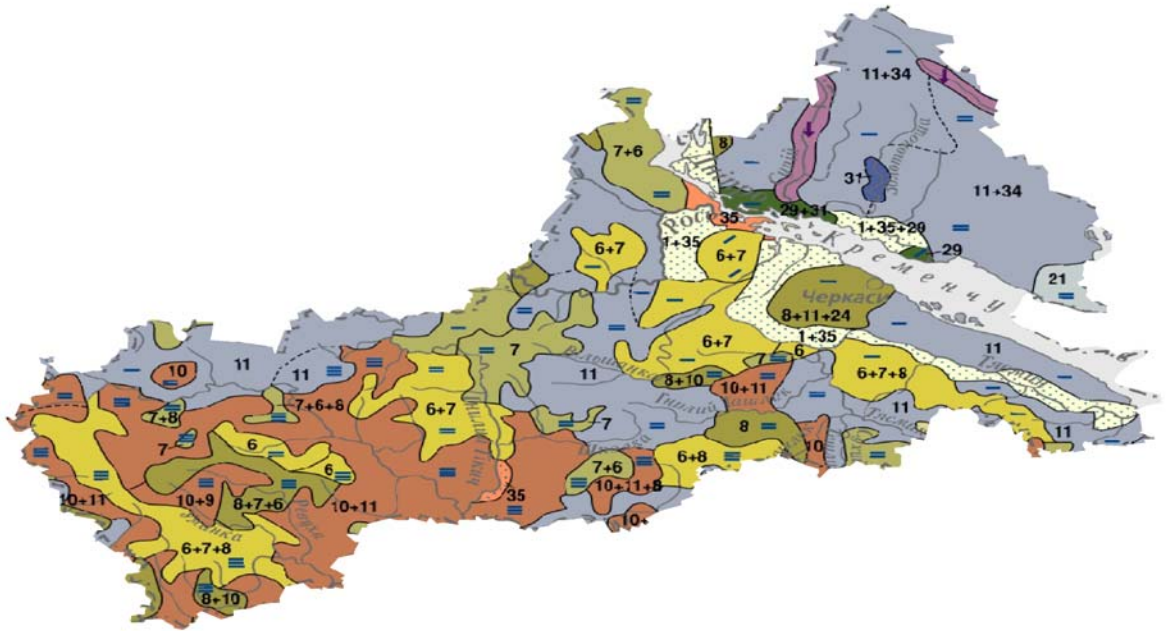


Рис. 3. Ґрунтова карта Черкаської області в масштабі 1 : 2 500 000 [5]

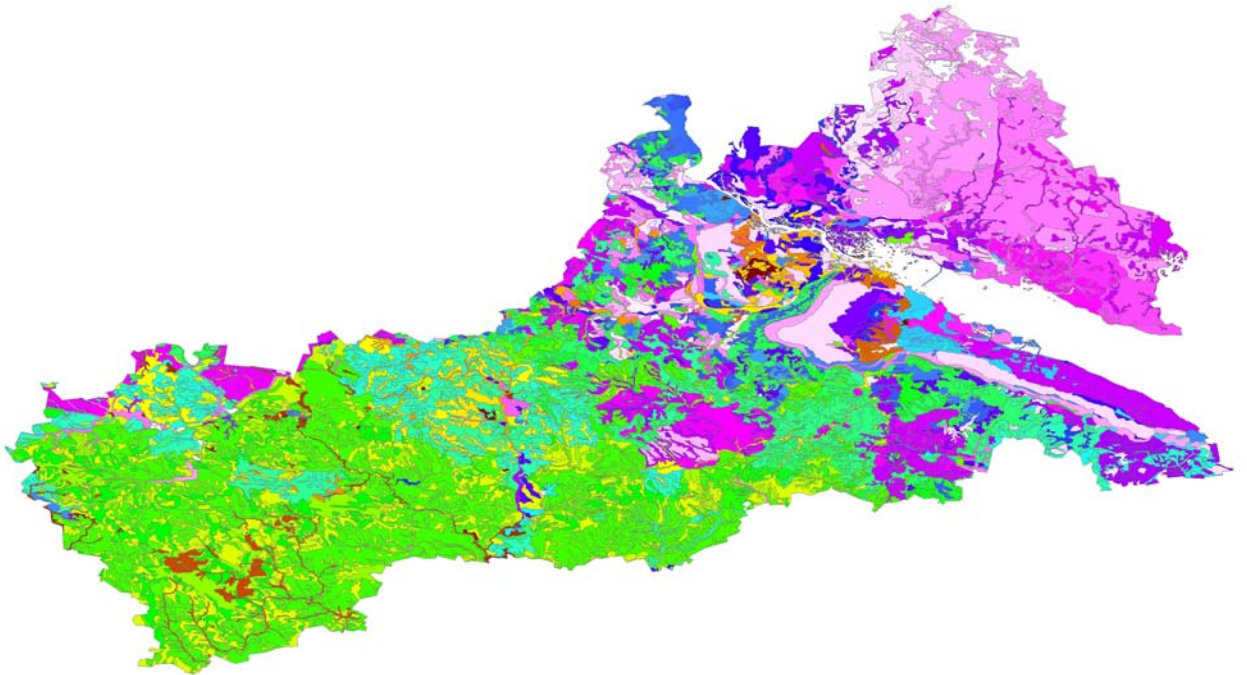


Рис. 4. Ґрунтова карта Черкаської області в масштабі 1 : 200 000 [4]

Результати моделювання параметрів продуктивності сільськогосподарських посівів з використанням у системі CGMS карт масштабу 1 : 5 000 000, 1 : 2 500 000 та 1 : 200 000 наведені в таблицях 1-3.

Таблиця 1

Результати моделювання параметрів продуктивності посівів озимої пшениці при використанні різних за масштабом ґрунтових карт на першу декаду квітня 2012 року

Масштаб	Загальна суха біомаса кг/га	Біомаса за недостатнього зволоження кг/га	Індекс площі листкової поверхні	Відносна вологість ґрунту	Потенційна транспірація см
1:5 000 000	383,4423	54,71974	0,399766	33,68585	114,0822
1:2 500 000	359,535	51,67141	0,374052	33,6918	107,2025
1: 200 000	348,1525	38,1654	0,386187	33,52356	115,0624

Таблиця 2

Результати моделювання параметрів продуктивності посівів озимої пшениці при використанні різних за масштабом ґрунтових карт на третю декаду квітня 2003 року

Масштаб	Загальна суха біомаса кг/га	Біомаса за недостатнього зволоження кг/га	Індекс площі листкової поверхні	Відносна вологість ґрунту	Потенційна транспірація см
1:5 000 000	1351,163	315,9004	0,028001	42,5927	94,39147
1:2 500 000	1282,203	299,7776	0,026571	42,72807	89,57393
1: 200 000	1266,049	296,0008	0,026237	42,75978	88,44542

Таблиця 3

Результати моделювання параметрів продуктивності посівів озимої пшениці при використанні різних за масштабом ґрунтових карт на третю декаду квітня 2008 року

Масштаб	Загальна суха біомаса кг/га	Біомаса за недостатнього зволоження кг/га	Індекс площі листкової поверхні	Відносна вологість ґрунту	Потенційна транспірація см
1:5 000 000	14227,19	12398,05	0,379916	13,29765	23,64715
1:2 500 000	13501,07	11765,28	0,360526	12,61896	22,44025
1: 200 000	13330,97	11617,05	0,355983	12,45998	22,15754



Розрахунки проводились для параметрів продуктивності озимої пшениці Черкаської області на першу декаду квітня 2012 року, на третю декаду квітня 2003(найменш продуктивний) і 2008(найпродуктивніший) років.

Як видно з таблиць, розрахунки параметрів продуктивності відмінні між собою і залежать від деталізації ґрунтового покриву. Причому, чим більший масштаб карти використовується в ході виділення елементарних картографічних одиниць, тим більші показники біопродуктивності посівів (загальна суха біомаса та біомаса за недостатнього зволоження). Так, якщо загальна суха біомаса за 2008 рік для масштабу 1 : 5 000 000 становить майже 14 300 кг, то для дрібніших масштабів цей показник становить 13 500 кг (1 : 2 500 000) та 13 330 кг (1 : 200 000). Подібна тенденція спостерігається і для інших ґрунтових характеристик. Якщо враховувати всі ґрунтові характеристики, то приблизно 5 % відносна різниця в показниках масштабів 1 : 5 000 000 і 1 : 2 500 000 та 6 % у показниках масштабів 1 : 5 000 000 і 1 : 200 000. Це можна пояснити тим, що при використанні великомасштабної карти (1 : 5 000 000) в системі CGMS майже вся територія вважається однорідною за ступенем придатності для вирощування сільськогосподарських культур і в розрахунках параметрів продуктивності рослин враховуються фізико-хімічні показники лише декількох типів ґрунтів. Що стосується використання більш деталізованих карт, то вони забезпечують диференційований підхід до врахування типів ґрунтів та їх характеристик при моделюванні продукційного процесу сільськогосподарських культур. І якщо на карті масштабу 1 : 5 000 000 всі виділені типи ґрунтів є придатними для вирощування, то на карті масштабу 1 : 200 000 з'являються ґрунти, ступінь придатності яких вважається мізерним або зовсім непридатні ґрунти (болотні, торфово-болотні). Саме тому середньозважені показники продуктивності при використанні карти 1 : 200 000 є меншими порівняно з показниками, отриманими за картою масштабу 1 : 5 000 000. Проте є й невеликі винятки. Так, якщо взяти показники вологості ґрунту за першу декаду квітня 2012 року, то можна побачити, що значення за масштабом 1 : 2 500 000 (33,69180) трохи більше ніж за масштабом 1 : 5 000 000 (33,68585). Це свідчить про те, що в масштабі 1 : 5 000 000 не були враховані невеликі площі ґрунтів, значення доступної вологи яких підвищує загальний фон ґрунтових вологозапасів тестової агроєкосистеми. Хоча за масштабом 1 : 200 000 цей показник (33,52356) менший за два інших, що свідчить про

врахування типів ґрунтів, які не зображені на картах масштабу 1 : 5 000 000 та 1 : 2 500 000. У таблиці 4 показано типи ґрунтів відповідно до масштабів карт, що використовувались при моделюванні параметрів продуктивності, та значення біомаси озимої пшениці за недостатнього зволоження кожного з них за однакових метеорологічних умов Шполянського району Черкаської області (рис. 5).

Таблиця 4

Значення біомаси озимої пшениці за недостатнього зволоження для різних типів ґрунтів за однакових метеорологічних умов Шполянського району Черкаської області

Масштаб	Ґрунт	Біомаса за недостатнього зволоження (кг/га)
1: 5 000 000	Чорноземи типові малогумусні	14484,28516
	Чорноземи реградовані	11896,48926
1: 2 500 000	Чорноземи типові малогумусні	14484,28516
	Чорноземи реградовані	11896,48926
	Чорноземи опідзолені	13411,37492
	Ясно-сірі та сірі опідзолені	12901,85674
	Темно-сірі опідзолені	12015,26765
1: 200 000	Чорноземи типові малогумусні	14484,28516
	Чорноземи реградовані	11896,48926
	Чорноземи опідзолені	13411,37492
	Ясно-сірі та сірі опідзолені	12901,85674
	Темно-сірі опідзолені	12015,26765
	Лучні ґрунти на делювіальних відкладах	10814,99056
	Лучно-чорноземні поверхнево-солонцюваті	7961,294434
	Торфово-болотні ґрунти	не придатні
Лучно-болотні ґрунти	не придатні	

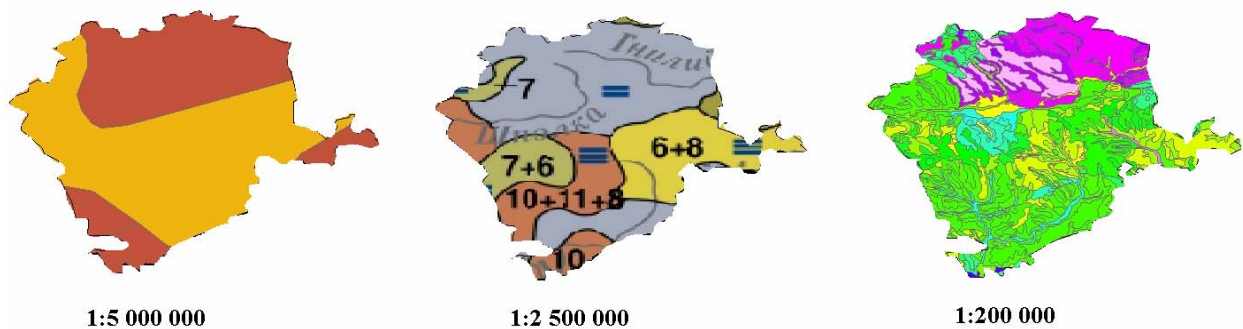


Рис. 5. Грунтова карта Шполянського району Черкаської області в різних масштабах

### Висновки

Отже, можна стверджувати, що в ході здійснення агрометеорологічного моніторингу умов вирощування й формування врожайності сільськогосподарських культур на основі CGMS у межах адміністративних областей та районів України, ступінь деталізації ґрунтового покриття впливає на значення показників біопродуктивності посівів. Так, якщо загальна суха біомаса за 2008 рік для масштабу 1 : 5 000 000 становить майже 14 300 кг, то для дрібніших масштабів цей показник становить 13 500 кг (1 : 2 500 000) та 13 330 кг (1 : 200 000). Проте, як показали дослідження, хоч карта з більш детальнішим масштабом (1 : 200 000) і показує відмінні показники параметрів продуктивності порівняно з використанням при моделюванні карт масштабу 1 : 5 000 000 (6 % різниця) та 1 : 2 500 000 (1 % різниця), все ж таки ця різниця не є досить суттєвою, особливо на державному рівні. Тому для здійснення агрометеорологічного моніторингу умов вирощування і формування врожайності сільськогосподарських культур на основі CGMS на державному та регіональному рівні достатньо інформативною є карта, що використовується на сьогодні, тобто 1 : 2 500 000. Що стосується районного рівня і менше, то в цьому випадку можна буде перейти на детальніший масштаб ґрунтової карти для точніших розрахунків параметрів продуктивності.

\* \*

1. Boogaard H.L., Eerens, H., Supit I., Diepen C.A. van, Piccard I., Kempeneers P. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). METAMP-report 1/3, Alterra and VITO, JRC-contract 19226-2002-02-F1FED ISP NL. – 2002.

2. Supit I., Eerens H., Diepen C.A. van, Boogaard H.L., Piccard I., Kempeneers P. Recommendations for Improvement of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). METAMP-report 3/3, Alterra and VITO, JRC-contract 19226-2002-02-F1FED ISP NL. – 2002.
3. Адаптація характеристик ґрунтового покриву України для використання в системі моніторингу умов росту і розвитку сільськогосподарських культур (CGMS) на прикладі Херсонської області // Фізична географія та геоморфологія. – К.: ВГЛ Обрії, 2010. – Вип. 4(61). – 272 с.
4. Крупский Н. К., Полупан Н. И. Атлас почв Украинской ССР – К.: Урожай, 1979. – 160 с.
5. Руденко Л. Г. Національний Атлас України. – К.: ДНВП "Картографія", 2007. – 440 с.
6. Soil type in the FAO-UNESCO 1974.

*Український науково-дослідний  
гідрометеорологічний інститут, Київ*

**Кривошеин А.О.**

**Моделирование производительности агроландшафтов на основе использования различных по масштабу почвенных карт**

*Определена степень детализации почвенного покрова для осуществления агрометеорологического мониторинга условий выращивания и формирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе CGMS в пределах административных областей и районов Украины.*

**Ключевые слова:** почвенная карта, масштаб, моделирование, продуктивность посевов, CGMS.

**Krivoshein A.O.**

**Modeling performance landscapes through the use of different scale soil maps**

*The degree of detail soil for agrometeorological monitoring growing conditions and the formation of crop yields based on CGMS within administrative regions and districts of Ukraine was determined.*

**Keywords:** soil map, scale, simulation, the productivity of crops, CGMS.