

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.
АГРОНОМІЧНІ НАУКИ

УДК 631.432:333.31(477.63)
© 2016

В.В. КОВАЛЕНКО,
кандидат сільськогосподарських наук

Д.О. ДОВГАНЕНКО,
кандидат географічних наук

А.С. БІЛОБРОВА,
магістр

Дніпропетровський державний
аграрно-економічний університет
– Дніпропетровський національний
університет імені О. Гончара,
Україна
E-mail: kova65@ukr.net

м. Дніпропетровськ, вул. Ворошилова, 25
м. Дніпропетровськ, просп. Гагаріна, 72

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ
ДО СТВОРЕННЯ ГІС РЕЖИМУ
ГРУНТОВОЇ ВОЛОГИ
НА ОСНОВІ
АГРОГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО
МЕТОДУ

Представлена методологія створення геоінформаційної системи режиму ґрунтової вологи, в основу якої покладено агрогідрометеорологічний метод розрахунку вологозапасів (АГММРВ), на прикладі озимої пшениці в умовах Дніпропетровської області. ГІС режиму ґрунтової вологи базується на встановленні логіко-статистичної залежності між емпіричними параметрами АГММРВ, цифровою моделлю рельєфу, ґрунтовим покривом та погодними умовами.

Ключові слова: ґрунтова волога, агрогідрометеорологічний метод розрахунку вологозапасів, ГІС режиму вологи.

Сьогодні, з розвитком точного землеробства, підвищились вимоги щодо детальності врахування вологості ґрунтів, оперативна інформація про вологозапаси є обов'язковою умовою оптимізації технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Вирішення питання інформаційного забезпечення можливе лише за умов використання сучасних методів одержання просторової інформації, до яких відносяться дистанційне зондування (ДЗ), цифрові моделі рельєфу (ЦМР) і похідні від них матеріали, а також методи геостатистичного аналізу дискретних даних. Зрозуміло, що всі ці методи мають "працювати" в геоінформаційному середовищі, за обов'язкового використання

систем глобального позиціонування і бути технологічно сумісними з комп'ютерними системами автоматизованого проектування [1]. Реалізація створення ГІС просторової мінливості гідротермічних умов базується на обмежених масивах даних вимірних вологозапасів, отриманих у ключових точках, та ЦМР на підставі статистико-математичних моделей залежності вологості від параметрів мезорельєфу. Зокрема, в дослідженні А.Б. Ачасова [2] показана принципова можливість використання геоінформаційного аналізу рельєфу з метою просторової оцінки вологості ґрунтів на рівні мезоландшафту. Автори ж статті пропонують використати розрахункові значення запасів вологи (за

АГММРВ) без проведення трудомістких польових вимірювань вологи.

Мета нашого дослідження – створення ГІС режиму ґрунтової вологи на основі використання агрогідрометеорологічного методу розрахунку вологозапасів (АГММРВ) під посівами основних сільськогосподарських культур (на прикладі озимої пшениці) для ґрунтів, характерних Дніпропетровській області. Подальші дослідження не були б реальними без ідеї автора методу проф. О.Ф. Литовченка [3] та багаторічної роботи в цьому контексті колективу наукової школи “Гідрологія ґрунтів”. Розробка АГММРВ для строкатих ґрунтових умов Поділля та Полісся спонукала до необхідності представлення цільової функції дослідження, запасів вологи в ґрунті під посівами основних культур не в звичних для дослідника міліметрах продуктивної вологи, а як відносну характеристику вологоємності ґрунту, по аналогії з водотримувальною здатністю ґрунту за основною гідрофізичною характеристикою (ОГХ) [4].

Для досягнення результату вирішені такі основні питання:

1) оптимізовано комплексний показник попередніх погодних умов (КПППУ) при використанні відкритих веб-метеоресурсів та статистично оцінена точність методу;

2) розроблено методологічні підходи до формалізації рельєфу та ґрунтового покриву як чинники, що визначають просторову неоднорідність формування режиму ґрунтової вологи;

3) запропоновано алгоритм геоінформаційного аналізу факторів формування запасів вологи в ґрунті під посівами сільськогосподарських культур та встановлено логіко-статистичні залежності між емпіричними параметрами АГММРВ і цифровою моделлю рельєфу та ґрунтового покриву.

Розв’язання першої задачі вимагало удосконалення АГММРВ, що спричинило корінну зміну КПППУ (P) порівняно з базовою моделлю [3]

$$W = c - a \cdot \exp(-b \cdot P), \quad (1)$$

де c , a та b – емпіричні параметри.

Ці зміни можна представити структурною схемою, що складена з п’яти блоків (рис. 1). Серед них головні:

1) визначення КПППУ за он-лайн використання інформаційного порталу погоди (www.gr5.ua) по даних про метеофактори з дискретністю до трьох годин практично для будь-якої території;

2) врахування в КПППУ швидкості вітру (V), відносної хмарності (N) та їх похідної дії

Базова модель	Блок	Оптимізована модель
Добові h, d, T	ПОГОДА	Строкові ($\Delta t=3$ год) $h, d, T, V, N, P_{атм}$
ВЗ, НВ, механічний склад	АГРОГІДРОКОНСТАНТИ	МГ, ВЗ, ВРК, НВ, ПВ, механічний склад
Фенологічна фаза	КУЛЬТУРА	Фенологічна фаза, k_{θ}
$P = f(h, d, T)$ $W = f(P)$	ТЕОРІЯ	$P = f(h, d, T, V, N, k_{\theta})$ $P = f(\psi); W = f(\theta);$ $\frac{dW}{dP} = f\left(\frac{d\theta}{d\psi}\right); W = f\left(P; \frac{d\theta}{d\psi}\right)$
Одношарова інтерполяція W	ГІС, ДЗЗ	Картування, інтерполяція : Кадастрова ґрунтова карта, a, b, c, P $W^i = W \pm (\Delta W)$ $[\Delta W = f(K, E, TWI, G_p)]$

Рис. 1. Структурна схема оптимізації АГММРВ

на інтенсивність випаровування, ефективно використання опадів, інтегральну складову температури та дефіциту вологості повітря, змінну диференціальну складову суми опадів [5];

3) врахування біологічної активності культури протягом вегетації (k_p).

Доречність підходу представити вихідну інформацію про вологозапаси у відносній (нормалізованій) формі ставить на перший план саме формування режиму ґрунтової вологи як якісної диференціальної складової зміни вологозапасів [6], а не їх кількісну характеристику, яка суттєво різниться для ґрунтів з різним механічним складом.

Нормалізовані значення запасів вологи надані як відношення вимірних запасів вологи до деякого їх оптимуму, який залежить від типу ґрунту. У дослідженні оптимум запасів вологи прийнятий рівним найменшій вологоємкості (НВ).

Нам уявляється важливим додати в модель КПППУ явище гістерезису [7] у формуванні запасів вологи в період сорбції та

десорбції її ґрунтом $W = f(P; \frac{d\theta}{d\psi})$ – рис. 1.

З формальної точки зору це повинно внести

неоднозначність у зв'язок КПППУ та відповідних йому запасів вологи.

Оптимізований КПППУ реалізували в агрогідрометеорологічному методі для розрахунку запасів вологи під посівами озимої пшениці за даними метеостанцій Дніпропетровської області Комісарівка, Нікополь, Лошкарівка, Чаплине, Губиниха та Синельникове.

Точність методу визначення вологозапасів оцінювали відносно інструментально-вимірних (термостатно-ваговим методом) значень вологозапасів у період 2005–2014 рр. за стандартними статистичними характеристиками (таблиця).

Коефіцієнт кореляції (r) між вимірними та розрахованими їх значеннями становив 0,92–0,97 для метрового шару ґрунту та 0,90–0,94 – для півметрового. Практично достатня вибірка даних (n) інструментальних спостережень (83–94 вимірювання) зумовила несуттєві похибки коефіцієнта кореляції (у середньому 0,01).

Забезпеченість відхилень розрахованих вологозапасів від вимірних у межах $\pm 10\%$ ($\Delta P_{10\%}$), за даними 6 метеостанцій області, в середньому дорівнювала 85% для метрового

Статистичні показники точності АГММРВ у весняно-літній період вегетації озимої пшениці

Метеостанція	n , шт.	$\Delta\sigma_{\text{відх}}$, %	r	$\Delta P_{10\%}$, %
Шар ґрунту 0–100 см				
Синельникове	89	6,8	0,95	83
Губиниха	86	5,4	0,97	93
Чаплине	93	5,5	0,93	93
Нікополь	90	7,9	0,96	78
Комісарівка	90	7,2	0,93	81
Лошкарівка	94	7,0	0,92	79
Шар ґрунту 0–50 см				
Синельникове	89	8,7	0,94	78
Губиниха	86	8,0	0,94	75
Чаплине	93	6,9	0,94	84
Нікополь	90	12,4	0,90	54
Комісарівка	90	9,6	0,91	58
Лошкарівка	94	8,7	0,91	81

та 72 % для півметрового шарів ґрунту, що зіставно з точністю термостатно-вагового методу. Порівняно з базовою моделлю середньоквадратичні відхилення ($\Delta\sigma_{відх}$) зменшилися на 17–31 %.

Така точність розрахунку надала підстави для створення ГІС ґрунтової вологи на основі АГММРВ.

Очевидно рельєф є головним чинником просторового перерозподілу атмосферної вологи в ґрунтах через регулювання інтенсивності, напрямку, частки поверхового та внутрішньогрунтового стоку, інфільтрації та випаровування.

Методика формалізації рельєфу та ґрунтового покриву (механічного складу) для створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) пов'язана з поєднанням взаємодії таких чинників, як крутизна (K) та експозиція (E) схилу [1], топографічного індексу зволоження (TWI) [8], що визначається положенням ділянки на схилі, механічного складу ґрунту (Gp) як фактора його водотримувальної здатності та швидкості інфільтрації.

Як основу для створення ЦМР Дніпропетровської області було використано дані радарної зйомки земної поверхні SRTM30 четвертого покоління. Просторовий дозвіл отриманої ЦМР становив 30 м, що є достатнім для реалізації запропонованого методу. Усі ці чинники формують сумарний поправочний коефіцієнт ΔW (відхилення) на значення вологості розрахункового шару ґрунту в межах геоінформаційної одиниці цифрової моделі (піксель) від середнього для плакорних умов за тих самих параметрів ґрунту та сільськогосподарської культури, тобто $\Delta W = f(K, E, TWI, Gp)$. Реалізація поправки ΔW в цифровій моделі відбувається через коефіцієнт інсоляції (K, E) [1], ресурсу GIS GRASS (TWI) та створеного растрового шару ґрунтового покриву (Gp) для типових ґрунтів області (<http://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>).

ГІС режиму ґрунтової вологи базується на даних прямих інструментальних вимірювань вологи на дослідних ділянках метеостанцій, які, зазвичай, зосереджені на незначній відстані від неї. Емпіричні параметри АГММРВ розраховані саме для цих ділянок (агрокліма-

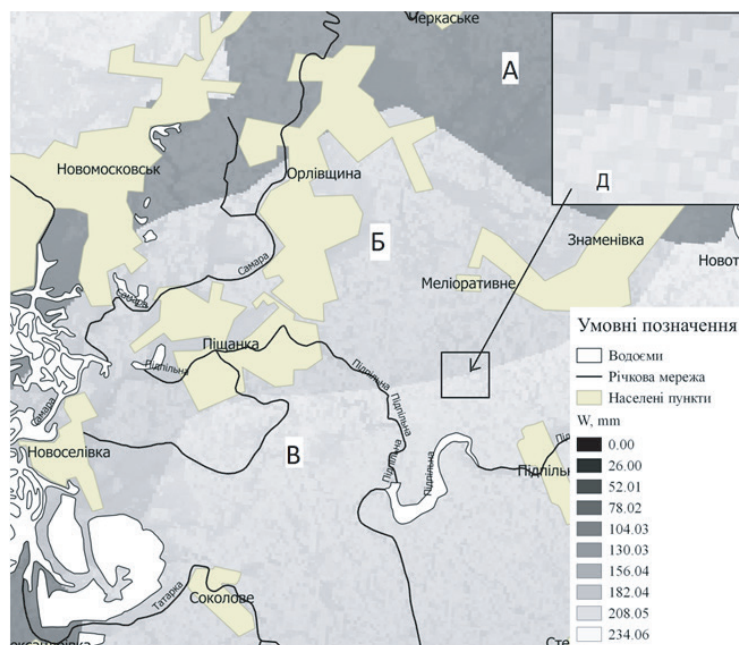


Рис. 2. Запаси вологи в метровому шарі ґрунту (W , мм) під посівами озимої пшениці на початок першої декади червня 2015 р.

тичних умов). При оцінці просторової мінливості (неоднорідності) поля вологості ґрунту в ГІС на основі АГММРВ використані площинна інтерполяція методом триангуляції на базі ГІС SAGA та метод алгебри карт.

Застосовані методи цілком достовірно відображують просторову інтерполяцію щоденних значень КПППУ (P) як інтегрального погодного фактора. При цьому для визначення кількісного значення P на метеостанції достатньо тільки інформації про поточні погодні умови (www.gp5.ua). Для більшої просторової об'єктивності зміни P на досліджуваній території в розрахунок задіяні дані 17 метеостанцій за периметром Дніпропетровської області.

Аналогічно до КПППУ реалізована просторова інтерполяція емпіричних параметрів методу (a', b', c') з урахуванням фізико-механічного складу ґрунту конкретної геоінформаційної одиниці цифрової моделі (пікселя). При цьому середні (розрахункові) запаси вологи W для плакорних умов довільної ділянки (пікселя) й буде реалізацією АГММРВ (формула 1) з урахуванням просторової мінливості її складових, тобто $W = f(a', b', c', P)$.

Отже, ГІС режиму ґрунтової вологи під посівами озимої пшениці побудована на базі GIS GRASS та QGIS і реалізована моделлю $W' = W \pm f(\Delta W)$, де перша складова є просторовою реалізацією АГММРВ, друга – просторова модель залежності вологості ґрунту

від параметрів рельєфу та ґрунтового покриття. Для окремої геоінформаційної одиниці ГІС (пікселя) змінним є тільки параметр P' , решті складових моделі ($K, E, TWI, Gr, a', b', c'$) фактично присвоюється значення константи.

Враховавши агрогідрологічні властивості ґрунтів (абсолютні значення НВ), легко перейти безпосередньо до звичних нам запасів вологи в міліметрах.

Он-лайн карта щоденного (середньопенядного, середньодекадного і т.д.) режиму ґрунтової вологи для Дніпропетровської області і є реалізацією ГІС за представленою в статті методикою. На рис. 2, як приклад, наведена картосхема запасів вологи для посівів озимої пшениці на території поблизу міста Новомосковськ.

Зазначимо, що механічний склад ґрунту найвагоміше впливає на формування запасів вологи (рис. 2: зона А – лучні слабосолонцюваті ґрунти; Б – чорноземно-лучні глибоко-слабосолонцюваті ґрунти; В – чорноземи звичайні малогумусні). Поправка ΔW від цифрової моделі рельєфу вторинна і для орних земель з помірними похилами становить 0,87–1,07. Крок картування просторово-часової зміни режиму ґрунтової вологи (рис. 2, фрагмент Д) цілком залежить від потужності обчислювальної техніки та площі об'єкта дослідження і може бути доведений до розміру пікселя (геоінформаційної одиниці ЦМР).

Висновки

Висока точність розрахунку щоденних запасів вологи за агрогідрометеорологічним методом слугує підставою для створення ГІС режиму ґрунтової вологи.

Картографічні матеріали, що будуються в ГІС, дозволять проводити кількісну оцінку неоднорідності гідротермічних умов на довільній території (поле, господарство, район).

Запропонований алгоритм урахування інформації про основні чинники формування режиму ґрунтової вологи може бути реалізованим у вигляді програмного продукту в рамках будь-якої геоінформаційної системи

(авторами методика реалізована на базі GIS GRASS та QGIS), що дозволить автоматизувати процес одержання он-лайн карт запасів вологи під посівами основних сільськогосподарських культур.

ГІС режиму ґрунтової вологи вирішуватиме низку завдань, що пов'язані з раціоналізацією використання земельних угідь, є перспективними в таких напрямках наукової та практичної діяльності, як моніторинг ґрунтів, адаптивно-ландшафтне землеробство, точне землеробство, бонітування та грошова оцінка земель.

Бібліографія

1. Ґрунтово-геоінформаційні засади протиерозійної оптимізації агроландшафтів: теорія і практика: автореф. дис. док. с.-г. наук: 06.01.03 [Електронний ресурс] / А.Б. Ачасов. – Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – Режим доступу: http://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00591823_0.html
2. Використання геоінформаційних технологій для оцінки просторової неоднорідності вологості орних ґрунтів / [А.Б. Ачасов, А.О. Ачасова, О.Ю. Селіверстов та ін.] // Людина та довкілля. Проблеми неоекології: наук. журнал Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – Харків: ХНУ, 2015. – № 1–2. – С. 18–23.
3. Литовченко А.Ф. Агрогідрометеорологічний метод расчета влажности почвы и водосберегающих режимов увлажнения орошаемых культур в Степи и Лесостепи Украины: монография / А.Ф. Литовченко. – Днепропетровск: Изд-во “Свидлер А.Л.”, 2011. – 244 с.
4. Физико-статистическая интерпретация параметров функции водоудерживающей способности почвы / [В.В. Терлеев, В. Mirschel, В.Л. Баденко и др.] // Физика, биофизика и экология почв. Агрофизика. – 2012. – № 4(8). – С. 1–8.
5. Від розрахунку вологозапасів до створення геоінформаційної системи режиму ґрунтової вологи / В.В. Коваленко, Л.М. Рудаков, В.І. Доценко, І.Ю. Бугайова // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2014. – № 2. – С. 139–141.
6. Оптимізація агрогідрометеорологічного методу в задачах розрахунку режиму ґрунтової вологи / В.В. Коваленко., В.І. Доценко, Л.М. Рудаков, І.Ю. Бугайова // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2015. – №3(71). – С. 277–280.
7. Моделирование главных ветвей иссушения и увлажнения петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы / В.В. Терлеев, А.Г. Топаж, В. Мишель, П.Д. Гурин // Агрофизика. – 2013. – № 1(9). – С. 22–29.
8. Haas J. Soil moisture modelling using TWI and satellite imagery in the Stockholm region / J. Haas. – Stockholm: The TRITA-GIT, 2010. – 103 p.

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук,
професор **І.І. Ярчук**