

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg20180108-138>

Available at: <http://mivg.iwvim.com.ua/index.php/mivg/article/view/138>

УДК 631.671:551.49:004

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РОЗРАХУНКІВ ХІМІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ҐРУНТІВ

В.П. Ковальчук¹, док. тех. наук, О.П. Войтович², аспірант, В.П. Лукашук³, канд. с.-г. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>; e-mail: volokovalchuk@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0002-1513-4744>; e-mail: aleks@krakow.in

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;

<https://orcid.org/0000-0003-0081-0962>; e-mail: vita_lukashuk@ukr.net

Анотація. У статті виділені актуальні проблеми підвищення кислотності і осолонцювання ґрунтів в Україні. Проаналізовано сучасний стан та шляхи нейтралізації токсичної дії на рослину кислотності і осолонцювання, наукові дослідження з поєднання технології хімічної меліорації із сучасними заходами аграрного виробництва. Проаналізовані публікації із поліпшення якості поливної води та внесення хіммеліорантів з поливною водою.

На основі аналізу стану наукових досліджень поставлено завдання розробки алгоритмів і програмного забезпечення для автоматизації розрахунків хімічної меліорації ґрунтів. Проаналізовані та систематизовані методи та розрахункові формули для хімічної меліорації кислих і осолонцюваних ґрунтів для розробки алгоритмів автоматизованого розрахунку.

Завдання вирішено за допомогою розроблення алгоритмів та програмного забезпечення розрахунку внесення доз вапновмісних та гіпсовмісних матеріалів. При розробці алгоритмів побудовано регресійні залежності дози вапна від різного $pH_{\text{сол}}$ і гранулометричного складу ґрунту. У публікації систематизовано властивості вапнякових матеріалів і складена база даних хіммеліорантів, систематизовано властивості меліорантів для гіпсування та складена відповідна база даних. Алгоритми реалізовано у вигляді комп'ютерних програм розрахунку, що працюють у мережі через Інтернет.

Ключові слова: вапнування, гіпсування, розробка алгоритмів, бази даних хіммеліорантів, бази знань, регресійні залежності.

Постановка проблеми. В аграрному секторі України використовується понад 32 млн. га орних земель (70% від загальної площі території України). Важливою умовою сталого розвитку України, підвищення продуктивності сільського господарства є турбота про охорону ґрунтів, збереження їх структури і властивостей. Відсутність дієвих механізмів виконання законів про охорону ґрунтів, незбалансоване і науково необґрунтоване землекористування стали причинами інтенсивного розвитку процесів їх деградації і зниження родючості [1]. На значних площах ґрунти еродовані, спостерігається ущільнення в підорному шарі, втрачено біля 20% органічної речовини, знижуються запаси поживних форм фосфору і особливо калію. Особливо значного поширення в Україні набули негативні процеси збільшення кислотності та засолення і осолонцювання ґрунтів.

Серед причин формування кислого ґрунтового середовища є кліматичні умови (промивний водний режим), особливості материнської породи (кисла чи карбонатна) та антропогенні чинники [1]. Серед антропогенних чинників підкислення провідну роль відіграє застосування фізіологічно і хімічно

кислих добрив, випадання кислотних опадів, підкислювальної дії зазнає ґрунт унаслідок декальцинації. Площі кислих ґрунтів значно поширені в різних ґрунтово-кліматичних зонах України і в останні роки збільшуються.

Іншим фактором, що обмежує високоєфективне використання ґрунтів, переважно на півдні України, є значне поширення їхніх лужних відмін. Розповсюджені солонцеві ґрунти в основному в лівобережному Лісостепу (середнє Придніпров'я), в Степу та невеликою кількістю – в південній частині Полісся. Економічно доцільне використання солонцевих ґрунтів можливе лише за їх меліорації [1].

Хімічна меліорація покликана оптимізувати кислотно-основні властивості ґрунту шляхом нейтралізації токсичної дії на рослину кислот, лугів, солей та інших елементів і сполук, що накопичились у ґрунтового розчині [2].

Осолонцювані та сильно лужні ґрунти мають також несприятливі для рослин водно-фізичні властивості [3-4].

Сучасні наукові дослідження орієнтовані на гармонійне поєднання технології хімічної меліорації із сівозміною адаптованою до несприятливих умов ґрунтового середовища [5-7], локальне застосування хімічних меліорантів

для покращення кальцієвого режиму кислих і солонцевих ґрунтів [8], залучення в орний шар внутрішньо ґрунтових ресурсів елементів і сполук [1, 2], застосування поливних вод з добавками меліоруючих речовин [9-10] із врахуванням ДСТУ «Якість води для зрошування» [11].

Хімічну меліорацію осолонцюваних ґрунтів, як підкреслено вище, можна провести, використовуючи для зрошення поліпшену природну воду або вносячи хімеліоранти з поливною водою [2, 5, 9-10]. Досліджень по внесенню хімеліорантів з поливною водою проведено відносно небагато, хоча це є перспективний напрямок.

Значна кількість досліджень присвячена застосуванню різних компостів для нейтралізації осолонцювання. Поліпшення солончаків і содистих ґрунтів органічними добавками щодалі розглядається як дешева і стійка альтернатива неорганічним матеріалам [12-13]. Меліоративний потенціал біомолекул та компостів зелених відвалів, що застосовуються до солонцюватого ґрунту, оцінюють в лабораторних і польових умовах [12-13].

Застосування сучасних інформаційних технологій для розрахунків, нормування і регулювання кислотно-основних властивостей ґрунту [14-15] прискорює процес прийняття управлінських рішень при хімеліорації, покращує якість управлінських рішень. Отже, розробка сучасних інформаційних технологій (алгоритмів і програмного забезпечення) для автоматизації розрахунків хімічної меліорації є важливим і актуальним завданням.

Метою статті є узагальнення методів розрахунку доз хімеліорантів і створення на цій основі алгоритмів розрахунку доз вапнякових матеріалів при вапнуванні кислих ґрунтів і доз гіпсування осолонцюваних ґрунтів, розробка комп'ютерного програмного забезпечення по плануванню хімічної меліорації ґрунту.

Методи дослідження. У літературі досить широко представлені методи розрахунку доз вапнякових матеріалів при вапнуванні кислих ґрунтів і доз гіпсування осолонцюваних ґрунтів у вигляді розрахункових формул.

При виконанні даного дослідження для розробки алгоритмів вапнування і гіпсування ґрунту проведений літературний пошук із узагальненням даних щодо застосування тих чи інших розрахункових формул та формування порядку автоматизованого розрахунку.

При вапнуванні кислих ґрунтів часто використовують показник кислотності ґрунту $pH_{\text{сол}}$. За літературними даними автори узагальнили залежності дози вапна від кислотності ґрунту $pH_{\text{сол}}$, гранулометричного складу ґрунтів, вмісту гумусу. Залежності отримані у вигляді регресійних рівнянь.

Другий метод розрахунку [6] базується на нейтралізації гідролітичної кислотності в одиниці маси ґрунту або

$$D = \frac{0,5 * H_r * S * h * d_v}{1000}, \quad (1)$$

де D – норма $CaCO_3$, т/га; 0,5 – кількість грамів $CaCO_3$, необхідних для нейтралізації 1 мг-екв гідролітичної кислотності в 1 кг ґрунту; H_r – гідролітична кислотність, мг-екв на 100 г ґрунту; S – 10000 м² (площа 1 га); h – глибина шару ґрунту, в який вносять вапно, м; d_v – щільність ґрунту, г/см³.

При розробленні алгоритму і програмного забезпечення автоматизованого розрахунку доз вапнування використана формула перерахунку дози вапна, залежно від застосування конкретного вапнякового добрива [6] з поправками на вміст вологи і недіяльних, великих частинок вапнякового матеріалу:

$$H_{\phi} = \frac{D_{CaCO_3} * 100^3}{(100 - W) * (100 - B) * C}, \quad (2)$$

де H_{ϕ} – фізична норма вапнякового матеріалу, т/га; D_{CaCO_3} – рекомендована норма вапна, т/га; W – вміст вологи у матеріалі, %; B – вміст недіяльних часток матеріалу розміром понад 3 мм, %; C – сума карбонатів ($CaCO_3$ і $MgCO_3$) в матеріалі, %.

При гіпсуванні солонців і осолонцюваних ґрунтів спершу визначають [6, 16] величину ступеня їх солонцюватості, що відображає якою мірою ґрунтовий вбирний комплекс (ГВК) насичений обмінним натрієм:

$$A = \frac{a * 100}{E}, \quad (3)$$

де A – ступінь солонцюватості, % від МКО; a – вміст обмінного натрію, мг-екв на 100 г ґрунту; E – місткість катіонного обміну, мг-екв на 100 г ґрунту; 100 – коефіцієнт для перерахунку у відсотки.

ґрунт класифікують за Антиповим-Каратаєвим і при потребі рекомендується його гіпсування. Згідно зі згаданою класифікацією, залежно від вмісту увібраного натрію в орному шарі в % від МКО (місткість катіонного обміну) ґрунти поділяються на 5 груп [6]: несолонцюватий < 5% від МКО, слабо солонцюватий 5–10% від МКО, середньо солонцюватий 10–15% від МКО, дуже солонцюватий 15–20% від МКО, солонець > 20% від МКО.

Для солонцюватих ґрунтів в літературі (ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О.Н.Соколовського») рекомендується встановлювати інтенсивність розвитку солонцевого процесу. Визначається співвідношення активності іонів Na^+ і Ca^{2+} у ґрунтовому

розчині $\frac{aNa}{\sqrt{aCa}}$ [6]: I – процес не розвивається ($< 0,5$); II – розвивається дуже повільно (0,5–1,5); III – розвивається повільно (1,5–3,0); IV – розвивається прискорено (3,0–6,0); V – Розвивається інтенсивно (6,0–10,0); VI – розвивається дуже інтенсивно (> 10).

Отже, гіпсування ґрунтів проводять при вмісті увібраного натрію понад 5% від МКО і інтенсивності розвитку процесу II-ї градації і вище. Розрахунки норми гіпсу здійснюють за такими формулами 4–7 [6, 16]:

для нейтральних ґрунтів

$$H=0,086*(Na - 0,05*МКО)*d_v*h \quad (4)$$

для слабо лужних ґрунтів

$$H=0,086*[(Na - 0,05*МКО)+(S-0,7)]*d_v*h, \quad (5)$$

для дуже лужних (солодових) ґрунтів

$$H=0,086*[(Na - 0,05*МКО)+(C-0,7)]*d_v*h. \quad (6)$$

для магнієвих (мало натрієвих) солонців

$$H=0,086*[(Na - 0,1*МКО)+(Mg-0,3 \text{ €})]*d_v*h. \quad (7)$$

де H – норма гіпсу ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), т/га; Na – вміст увібраного натрію, мг/екв на 100 г ґрунту; $МКО$ – місткість катіонного обміну, мг/екв на 100 г ґрунту; d_v – щільність ґрунту, г/см³;

h – глибина шару ґрунту, який меліорується, см; 0,086 – міліеквіваленти гіпсу; S – вміст токсичної лужності ($\text{HCO}_3 \cdot \text{Ca}^{2+}$); C – вміст карбонату натрію ($\text{CO}_3^{2-} \cdot \text{Na}^+$) у водній витяжці, мг-екв на 100г ґрунту; Mg – вміст увібраного магнію, мг-екв на 100г ґрунту.

Фізичну норму меліоранту обчислюють з урахуванням вмісту гіпсу та вологи в матеріалі за формулою 8:

$$H\phi = \frac{D_{\text{CaSO}_4} * 10000}{C * (100 - W)}, \quad (8)$$

де $H\phi$ – фізична норма меліоранту, т/га; D_{CaSO_4} – рекомендована формулами (4-7) норма $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, т/га; C – вміст $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в матеріалі, %; W – вміст вологи в матеріалі, % на суху наважку.

Норми гіпсу розраховують на нейтралізацію увібраного натрію та при наявності токсичної лужності, карбонату натрію та увібраного магнію.

Результати досліджень

1. Алгоритм і програмний комплекс по вапнуванню кислих ґрунтів. Використовуючи методи дослідження, наведені вище, автори розробили алгоритм автоматичного розрахунку дози внесення вапнякових хімеліорантів при вапнуванні ґрунтів з підвищеною кислотністю (рис. 1).

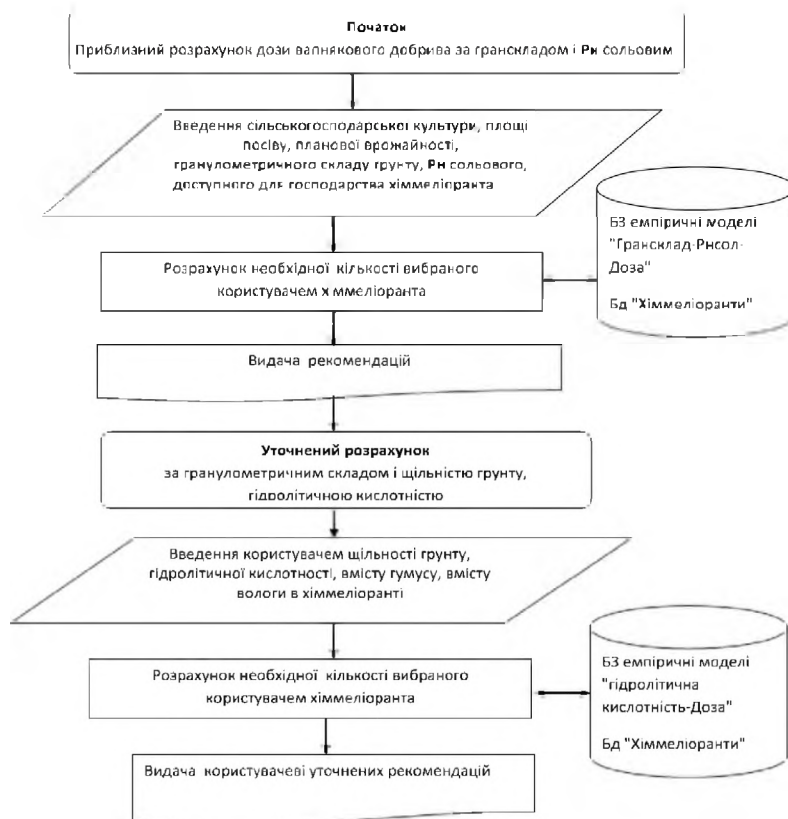


Рис. 1. Блок-схема алгоритму автоматизованого розрахунку дози вапнякових меліорантів для вапнування кислих ґрунтів

Алгоритм розрахунку складається з попереднього розрахунку дози вапна за введеним користувачем гранулометричним складом ґрунту і $pH_{\text{сол}}$ та уточненого розрахунку за гідролітичною кислотністю.

При розробленні алгоритму вапнування залежності дози вапна від кислотності $pH_{\text{сол}}$ та гранулометричного складу ґрунтів отримані у вигляді регресійних рівнянь (рис. 2), на основі яких сформована база знань «Грансклад- $pH_{\text{сол}}$ -Доза».

Уточнений розрахунок проводиться за формулою (2) з використанням даних про гідролітичну кислотність і щільність ґрунту на полі користувача. Якщо дані про щільність ґрунту відсутні, користувач може скористатись картою щільності поверхневого шару ґрунтів України [17].

При визначенні фізичної дози вапнякових матеріалів авторами складена база даних «Хіммеліоранти», в якій систематизовані за

літературними джерелами [6, 9, 13, 18-21] та мережі Інтернет узагальнені властивості вапнякових матеріалів, що можуть бути застосовані сільгоспвиробниками для вапнування. Визначені коефіцієнти перерахунку вапнякових добрив на $CaCO_3$ (таблиця 1).

Розроблений алгоритм з планування вапнування було адаптовано до вимог сучасного програмного забезпечення та реалізовано у вигляді WEB-сервісу (рис. 3). Мовою програмування обрано PHP та JavaScript. Для організації бази даних використана СУБД MySQL. Інтерфейс користувача доступний через Інтернет браузер і розміщений за посиланням: <http://ais.agro.ws/vapno>

За допомогою WEB-форм користувачеві пропонується зазначити дані свого поля та результати лабораторного аналізу ґрунту. На основі введених значень, автоматично розраховуються фізичні дози вапна під заплановану площу.

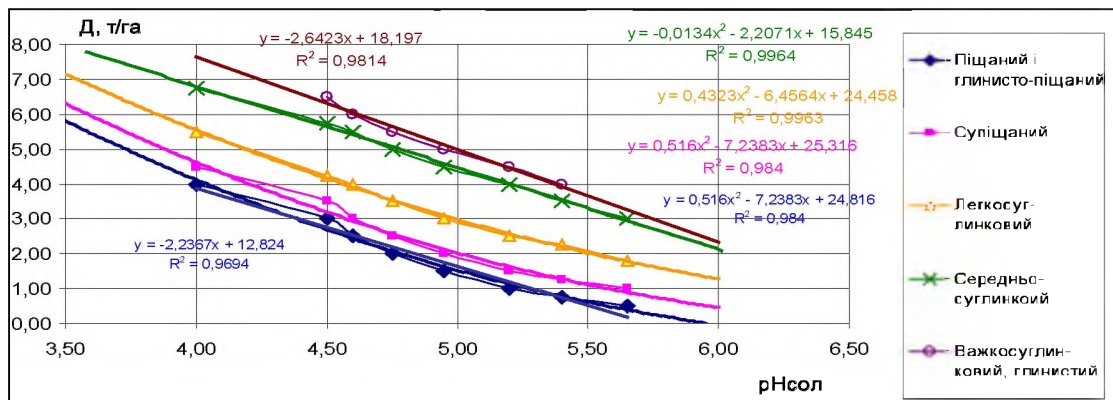


Рис. 2. Регресійні залежності дози вапна від $pH_{\text{сол}}$ для різного гранулометричного складу ґрунтів

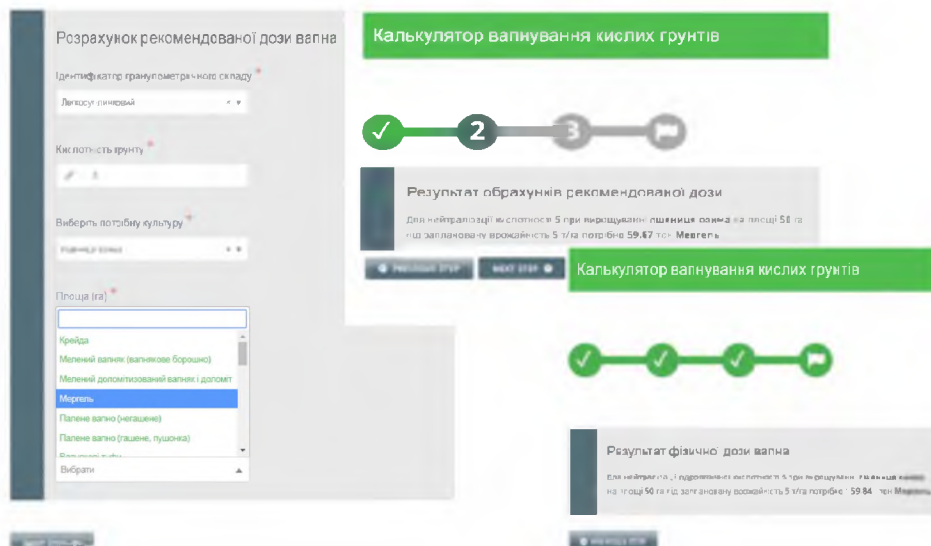


Рис. 3. Інтерфейс програми розрахунку норм вапнування

1. Вапнякові матеріали та коефіцієнти перерахунку на CaCO₃

№	Матеріал та хімічна формула	Коефіцієнт перерахунку	% домішок	Спосіб одержання	Примітка
1	2	3	4	5	6
1	Крейда CaCO ₃	0,95	0-10%	з покладів	до 55% CaO і до 0,6% MgO
2	Вапнякове борошно CaCO ₃	0,85	0-25%	розмелом твердих вапняків	біля 75% CaCO ₃
3	Доломітове борошно CaMg(CO ₃) ₂	1,1	0-25%	розмел вапняків і доломітів	% співвідношення MgCO ₃ • CaCO ₃ різне
4	Мергель CaCO ₃ іноді MgCO ₃	0,4	25-75%	з покладів	25-50% CaCO ₃ , до 2% MgCO ₃ , 25% глини, піску
5	Вапно не гашене CaO	1,78	мало	обпалювання твердих вапняків	біля 100% CaO
6	Вапно гашене Ca(OH) ₂	1,35	мало	гашення водою паленого вапна	1 т гашеного вапна еквівалентна 1,35 т CaCO ₃
7	Вапнякові туфи CaCO ₃	0,8	10-20%	з покладів	70-90% CaCO ₃
8	Озерне вапно (гажа) CaCO ₃	0,75	20%	з покладів після висихання водою	біля 75% CaCO ₃
9	Дефекат CaCO ₃ з домішками CaO	0,67	до 22%	відходи цукрових заводів	вологістю ≤ 20% містить 60-75 CaCO ₃ , 10-15 – органічних речовин, до 1% N, P ₂ O ₅ , K ₂ O
10	Металургійні шлаки Силікати Ca, Mg	0,72	До 65%	відходи металургійних підприємств	містять: 30-50% CaO, 30-40% SiO ₂ , 10-30% Al ₂ O ₃ , Fe, Mg, Mn.
11	Цементний пил CaCO ₃ +CaO	0,82	15,5% SiO ₂	відходи цементних заводів	містить 45-48%CaO і 10-15% K ₂ O
12	Флотажні відходи -	0,8	8-12% сірки	відходи добування сірки	містять близько 80% CaCO ₃
13	Зола сланців -	0,72	до 31% SiO ₂ ; 1-3% K ₂ O, P ₂ O ₅	спалювання горючих сланців на електростанціях	містить 30 -50% CaO, 1,5 – 4,0% MgO
14	Зола кам'яного вугілля -	0,52	36% SiO ₂	спалювання вугілля на електростанціях	-
15	Зола торфу -	0,3	30% SiO ₂	використання торфу на паливо	нейтралізуюча здатність 30-35%.
16	Газове вапно CaCO ₃	0,7	мало	утворюється на газових заводах	нейтралізуюча здатність до 70%.
17	Содове вапно CaCO ₃ + CaCl ₂	1,08	До 25%	відходи содових заводів	містить до 50% CaO і MgO
18	Підзол шкіряного виробництва -	0,5	До 50%	відходи шкіряного виробництва	нейтралізуюча здатність до 60%.
19	Відходи целюлозного виробництва	1,08	50% глина	відходи целюлозного виробництва	містять до 50% CaO і MgO
20	Карбідне вапно Ca(OH) ₂ +CaC ₂	1,4	мало	відходи виробництва ацетилену з карбіду кальцію	нейтралізуюча здатність до 140%
21	Фосфорити Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,69	15%	з покладів	P ₂ O ₅ -10%, K ₂ O-1,5%, CaO-19,2%, CaCO ₃ -34%
22	Вапнякове молоко Ca(OH) ₂	1,35	мало	гашення водою паленого вапна	
23	Сапропель CaO	0,5	біля 40%	з дошних відкладів	3% MgO, 10% Al ₂ O ₃ , 40-50%SiO ₂ , 20-30% CaO
24	Торфотуфи CaCO ₃ +увібраний Ca	0,35	50%	з покладів	містить небагато CaCO ₃
25	Білітове борошно 2CaO* SiO ₂	0,85	50%	відходи алюмінієвого виробництва	містять до 40-50% CaO, ≤2,0%K ₂ O, 1,2%MnO ₂

2. Алгоритм і програмний комплекс по гіпсуванню осолонцьованих ґрунтів. Алгоритм автоматичного розрахунку дози внесення гіпсу складається із послідовного визначення ступеня солонцюватості ґрунтів і інтенсивності солонцевого процесу за описаною вище методикою. При ступені солонцюватості >5 і інтенсивності солонцевого процесу, що відповідає групі II, рекомендується проводити гіпсування за алгоритмом, зображеним на рис. 4.

При розрахунку дози внесення гіпсу використовується база знань, яка пов'язує застосування відповідної формули для розрахунку дози із реакцією ґрунтового середовища.

Як засвідчують наукові дослідження [9-10], гіпсування можна проводити вносячи меліоранти з поливною водою. Для цього, при розробці алгоритму і програмного забез-

печення, на основі літературних джерел [6, 9, 13, 18-22] та мережі Інтернет нами систематизована інформація про розчинність матеріалів для гіпсування (таблиця 2) та складена відповідна електронна база даних «Хімеліоранти». База даних містить також інформацію про коефіцієнти перерахунку хімеліорантів на гіпс.

Представлені алгоритми адаптовано для реалізації у вигляді програмного коду в сучасних комп'ютерних системах. На основі запропонованого алгоритму створено WEB-сервіс для автоматизованого розрахунку операцій по боротьбі з осолонцюванням ґрунту (рис. 5). Технічна реалізація програми аналогічна вищеописаному калькулятору вапнування: мова програмування PHP, JavaScript та СУБД MySQL.

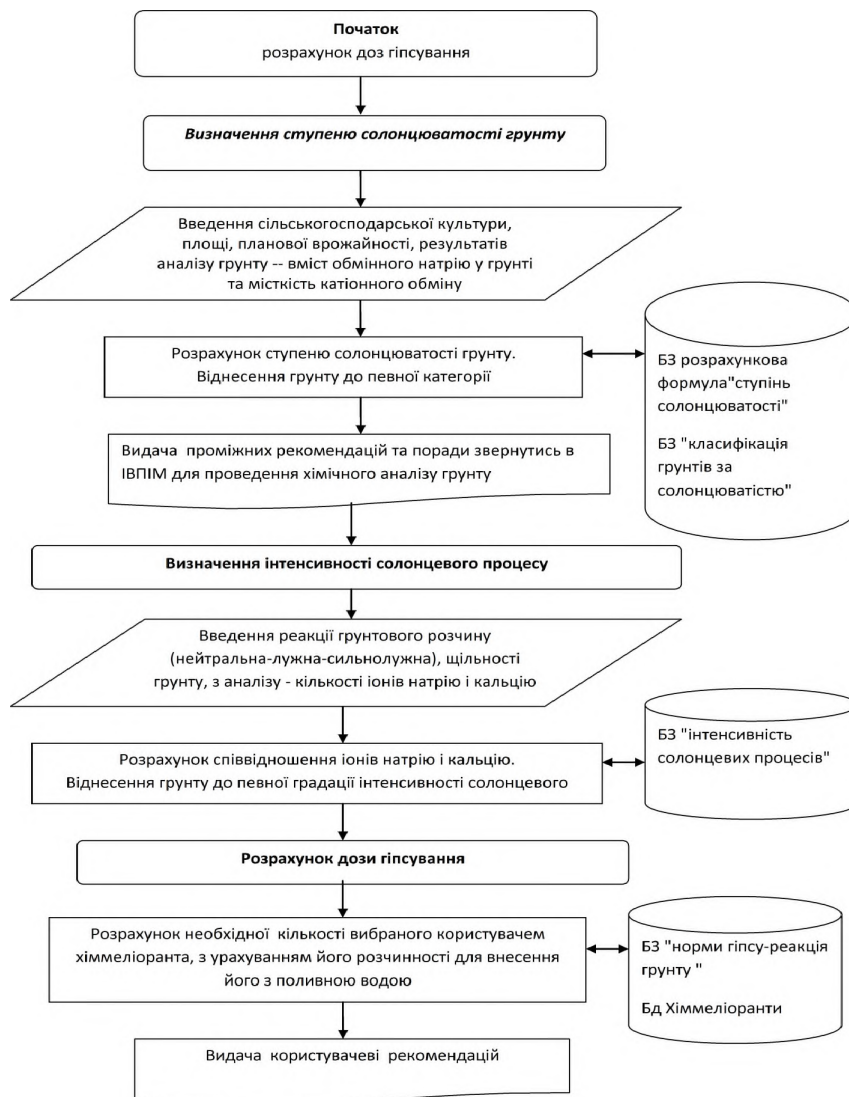


Рис. 4. Блок-схема алгоритму автоматизованого розрахунку дози гіпсовмісних меліорантів для хімеліорації осолонцьованих ґрунтів

2. Розчинність хімічних речовин, які використовують під час меліорації солонцевих ґрунтів і коефіцієнти перерахунку на гіпс

№	Назва меліоранту	Хімічна формула	Розчинність на 1 дм ³ води за 200 С, г	Коефіцієнт перерахунку на гіпс
1	Гіпс	CaSO ₄ *2H ₂ O	2,41	1,00
2	Хлорид кальцію	CaCl*6H ₂ O	813	0,85
3	Сульфат заліза II	FeSO ₄	265	1,62
4	Залізний купорос	FeSO ₄ *7H ₂ O	235	1,4
5	Сірчана кислота	H ₂ SO ₄	не обмежено	0,57
6	Фосфогіпс	70-80% CaSO ₄ *2H ₂ O	3,00	0,90
7	Сірка	S	не розчинна	0,19
8	Сульфат амонію	(NH ₄) ₂ SO ₄	706	1,1
9	Сульфат алюмінію	(Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O)	385	1,29
10	Полісульфід кальцію	CaS ₅	немає інформації	0,77

Калькулятор гіпсування

Розрахунок рекомендованої дози гіпсу

Дробні величини слід вводити через крапку. Наприклад: 5.23

1 2 3 4

Визначення ступеню солонцюватості ґрунту

Вміст обмінного натрію (мг-екв. на 100 грам ґрунту)

4.5

Місткість катіонного обміну (мг-екв. на 100 грам ґрунту)

42

Під яку культуру проводиться обробка

пшениця озима

Площа (га)

5

NEXT STEP

Калькулятор гіпсування

Розрахунок фізичної дози гіпсу та водного розчину

Вміст обмінного натрію: 4,9 мг-екв. на 100 грам ґрунту.
Місткість катіонного обміну: 42 мг-екв. на 100 грам ґрунту.
За класифікацією Антипова-Каратаєва ґрунт середньосолонцюватий.
Солонцевий процес розвивається дуже повільно (III).
Показник pH - від 5,5 до 7,0 відповідає нейтральному ґрунту.

Розрахункова норма внесення гіпсу (CaSO₄*2H₂O): 6,19 т/га.
В вмісті меліоранту обрано фосфогіпс.
Розрахункова норма внесення фосфогіпсу: 6,25 т/га.
Під зведену площу 5 га потрібно фосфогіпсу: 31,25 т

Норми внесення меліоранту разом з поливною водою складові:
Розв'язати фосфогіпсу 3,00 грам на літр.
Рекомендована норма розливу: 6,25 тон фосфогіпсу на 2083 м³ поливної води.
Під зведену площу 5 га потрібно внести 31,25 тон фосфогіпсу, розв'язаного в 10417 м³ поливної води.
Внесення меліоранту проводиться під час поливораціональної поливу.

PREVIOUS STEP

Рис. 5. Інтерфейс програми розрахунку норм гіпсування

Користувачеві пропонується вказати дані конкретного поля, на основі яких розраховуються норми внесення гіпсу. Кінцеві комп'ютерні розрахунки та рекомендації відображають фізичні норми внесення обраного хімічного меліоранту, як безпосередньо у ґрунт, так і разом з поливною водою.

Ознайомитись з програмою розрахунку гіпсування ґрунту можна за посиланням: <http://ais.agro.ws/gips>

Розвиток системи полягає у подальшому вдосконаленні її розрахункових можливостей, актуалізації баз даних і знань, можливостей

пошуку оптимального за вартістю і меліоративним впливом хіммеліоранта, оптимізації внесення з поливною водою.

Висновки. Проаналізовані шляхи нейтралізації токсичної дії на рослину кислотності і осолонцювання за допомогою вапнування і гіпсування, в т.ч. з поливною водою.

Встановлено, що дослідженням поліпшення якості поливної води присвячено значну кількість публікацій. Натомість, дослідженню норм внесення хіммеліорантів за допомогою поливу для розсолонцювання ґрунту приділено недостатньо уваги.

На основі узагальнення наявних публікацій систематизовано розрахункові методи нормування хімічних меліорацій та розроблено алгоритми для автоматизованого планування цих операцій. Це дозволить агровиробникові оперативно розраховувати дози внесення хіммеліорантів.

У процесі виконання досліджень сформовано бази знань формалізованих залежностей та даних властивостей хіммеліорантів, що допомагають реалізувати автоматизований розрахунок, приймати науково обґрунтовані управлінські рішення по застосуванню хіммеліорації, в т.ч. вносячи меліоранти з поливною водою.

Розроблено комп'ютерне програмне рішення, яке використовує запропоновані алгоритми автоматизації оперативного планування та розрахунку дози внесення хіммеліорантів при вапнуванні кислих ґрунтів і гіпсуванні осолонцьованих ґрунтів. Впровадження даного програмного забезпечення сприятиме ширшому використанню сільгоспвиробниками місцевих меліоруючих матеріалів та відходів виробництва, що зменшить накопичення їх у відстійниках і відвалах. Внесення науково обґрунтованих норм хіммеліорантів підвищить родючість та поліпшить водно-фізичні властивості ґрунту.

Бібліографія

1. Національна доповідь «Про стан родючості ґрунтів України» / С.А. Балюк та ін. Київ: [б. в.]. 2010. 111 с.
2. Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): колективна монографія. / Балюк С.А. та ін. Херсон: Гринь Д.С., 2015. 668 с.
3. Sagheer, Ahmad, et al. Implication of Gypsum Rates to Optimize Hydraulic Conductivity for Variable Texture Saline–Sodic Soils Reclamation. *Land degradation & development*, 2016, 27.3: 550-560.
4. May, Yair; Porporato, Amilcare. Optimal control solutions to sodic soil reclamation. *Advances in water resources*, 2016, 91: 37-45.
5. Сучасна концепція хімічної меліорації кислих і солонцевих ґрунтів / За ред. С.А. Балюка і Р.С. Трускавецького. Харків: ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського, 2008. 100 с.
6. Методичні вказівки з охорони ґрунтів / [Греков В.О., та ін.] Київ: [б. в.]. 2011.
7. Ahmad, Sagheer, et al. Amelioration of a calcareous saline-sodic soil by gypsum application and different crop rotations. *Int. J. Agric. Biol*, 2006, 8: 142-146.
8. Цапко Ю.Л. Агроекологічний стан кислих ґрунтів за умов створення просторової неоднорідності // *Агроекологічний журнал*. 2010. № 3. С. 44-48.
9. Лозовіцький, П. С. Поліпшення якості природної води шляхом насичення кальцієвими солями фосфогіпсу з одночасним підкисленням сірчаною кислотою // *Вісник ДААУ*, 2000, №1. С. 16-25.
10. Огарков А.П., Огарков С.А., Котеев С.В. Научно-технические эффективные инновационные технологии производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Аннотации технологий). Москва: ВИАПИ им. А.А. Никонова, 2014. 183 с.
11. Якість води для зрошування. Екологічні критерії: ДСТУ 7286:2012. Київ: Мінекономрозвитку України, 2013. 14 с.
12. Chaganti, Vijayasatya N.; Crohn, David M.; Šimunek, Jirka. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline–sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 2015, 158: 255-265.
13. Day, S.J., et al. Gypsum, langbeinite, sulfur, and compost for reclamation of drastically disturbed calcareous saline–sodic soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2018, 1-10.
14. Корчинська О.А. Сучасні інформаційні технології в регулюванні процесів підвищення родючості ґрунтів. // *Економіка АПК*, 2014, 10. С. 70-74.
15. Гуков Я.С., Линник Н.К., Мироненко В.Г. Автоматизированная система локально-дозированного внесения удобрений, мелиорантов и средств защиты растений // *Труды 2-й МНПК по проблемам дифференциального применения удобрений в системе координатного земледелия*. Рязань, 2001. С. 48–50.
16. (2002). Інструкція з проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошуваних землях України. Балюк, С.А., та ін. ВНД 33-5.5-11-2002.
17. Мапа щільності поверхневого шару ґрунтів України. <https://uhmi.org.ua/rozr/agro/>
18. Абашина К.О., Хандогіна О.В. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Утилізація промислових відходів» (для студентів 6 курсу спеціальності 8.17020201 – Охорона праці) / Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. 58 с.

19. Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Будівельне матеріалознавство. Рівне: НУВГП, 2016. 448 с.
20. Воротинцева Л. І. Використання кальцієво-залізовмісних відходів для окультурювання зрошуваних мінералізованими водами і техногенно забруднених ґрунтів. // Агрохімія і ґрунтознавство, 2015, 83. С. 67-73.
21. Добрива та їх використання: довідник. Київ: Арістей, 2010. 254 с.
22. Стан та перспективи гіпсування ґрунтів півдня України / Гирля Л.М., Гамаюнова В.В., Хоненко Л.Г., Макарова Г.А. // Вісник аграрної науки Причорномор'я, 2009, 3. С. 124-130.

References

1. Baliuk, S. A., Medvediev, V.V., Tararyko, O.H., Hrekov, V.O., & Balaev, A.D. (2010). Natsionalna dopovid «Pro stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy» [National report «On the state of soil fertility in Ukraine»]. Kyiv: [b. v.]. [in Ukrainian].
2. Baliuk, S.A., Romashchenko, M. I., & Truskavetsky, R.S. (Ed.). (2015). Melioratsiia hruntiv (systematyka, perspektyvy, innovatsii): kolektyvna monohrafiia. [Soil melioration (systematics, perspectives, innovations): a collective monograph.]. Kherson: Hrin D.S. [in Ukrainian].
3. Sagheer, A. (2016). Implication of Gypsum Rates to Optimize Hydraulic Conductivity for Variable Texture Saline–Sodic Soils Reclamation. *Land degradation & development*, 27 (3), 550-560.
4. May, Ya., & Porporato, A. (2016). Optimal control solutions to sodic soil reclamation. *Advances in water resources*, 91, 37-45.
5. Baliuk, S.A., & Truskavetsky, R.S. (Ed.). (2008). Suchasna kontseptsiiia khimichnoi melioratsii kyslykh i solontsevykh gruntiv [The modern concept of chemical reclamation acid and sodic soils]. Kharkiv: NNTs IHA imeni O.N. Sokolovskoho. [in Ukrainian].
6. Hrekov, V.O., Datsko, L.V., & Zhylykin, V.A. (2011). Metodychni vkazivky z okhorony gruntiv [Guidelines for the protection of soils]. Kyiv: [b. v.]. [in Ukrainian].
7. Ahmad, S., Ghafoor, A., Qadir, M., & Aziz, M. A. (2006). Amelioration of a calcareous saline-sodic soil by gypsum application and different crop rotations. *Int. J. Agric. Biol*, 8, 142-146.
8. Tsapko, Yu. L. (2010). Ahroekolohichni stan kyslykh gruntiv za umov stvorennia prostorovoi neodnorodnosti [Agroecological state of acid soils under the conditions of spatial heterogeneity]. *Ahroekolohichni zhurnal*, 3, 44-48. [in Ukrainian].
9. Lozovitskyi, P. S. (2000). Polipshennia yakosti pryrodnoi vody shliakhom nasychennia kaltsiievymy soliamy fosfohipsu z odnochasnym pidkyslenniam sirchanoi kyslotoiu [Improvement of the quality of natural water by saturation with calcium salts of phosphogypsum with simultaneous acidification with sulfuric acid]. *Visnyk DAAU*, 1, 16-25. [in Ukrainian].
10. Ogarkov, A.P., Ogarkov, S.A., & Koteyev, S.V. (2014). Naukoyemkiye effektivnyye innovatsionnyye tekhnologii proizvodstva. khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii (Annotatsii tekhnologiy) [Highly-efficient, innovative technologies for the production, storage and processing of agricultural products (Annotations of technologies)]. Moscow: VIAPI im. A.A. Nikonova. [in Russian].
11. Iakist vody dlia zroshuvannia. Ekolohichni kryterii: DSTU 7286:2012 [Water quality for irrigation. Environmental criteria: DSTU 7286:2012]. (2013). Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. [in Ukrainian].
12. Chaganti, Vi.N., Crohn, D.M., & Simunek, Ji. (2015). Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline–sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 158, 255-265.
13. Day, S.J., Norton, J.B., Strom, C.F., Kelleners, T.J., & Aboukila, E.F. (2018). Gypsum, langbeinite, sulfur, and compost for reclamation of drastically disturbed calcareous saline–sodic soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1), 295-304. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1671-5>
14. Korchyńska, O. A. (2014). Suchasni informatsiini tekhnologii v rehuliuванні protsesiv pidvyshchennia rodiuchosti hruntiv [Modern information technologies in the regulation of soil fertility enhancement processes]. *Ekonomika APK*, 10, 70-74. [in Ukrainian].
15. Gukov, Ya.S., Linnik, N.K., & Mironenko, V.G. (2001). Avtomatizirovannaya sistema lokalno-dozirovannogo vneseniya udobreniy. meliorantov i sredstv zashchity rasteniy [Automated system of locally-dosed fertilizer. meliorant and plant protection products]. *Trudy 2-y MNPK po problemam differentsialnogo primeneniya udobreniy v sisteme koordinatnogo zemledeliya*. Ryazan, 48-50. [in Russian].
16. Baliuk, S.A., Ladnykh, V.Ya., Novikova, H.V., Havrylovych, N.Yu., Nosonenko, O.A., Romashchenko, M.I., & Chkhalov, V.V. (2002). Instrukttsiia z provedennia hruntovo-solovoi ziomky na zroshuvanykh zemliakh Ukrainy. VND 33-5.5-11-2002 [Instruction on soil-salt survey on irrigated lands of Ukraine. VSC 33-5.5-11-2002.]. Kyiv: Dergvodgosp of Ukraine [in Ukrainian].
17. Mapa shchilnosti poverkhnevoho sharu gruntiv Ukrainy - <https://uhmi.org.ua/rozz/agro/> [Map of the density of the surface layer of soils of Ukraine. Retrieved from <https://uhmi.org.ua/rozz/agro/>]. [in Ukrainian].

18. Abashyna, K.O., & Khandohina, O.V. (2016). Konspekt lektsii z navchalnoi dystsypliny «Utylizatsiia promyslovykh vidkhodiv» (dlia studentiv 6 kursu spetsialnosti 8.17020201 – Okhorona pratsi) [Compendium of lectures on the discipline «Utilization of industrial waste» (for students of the 6th year of specialty 8.17020201 - Labor Protection)]. Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. [in Ukrainian].

19. Dvorkin, L.Y., & Lapovska, S.D. (2016). Budivselne materialoznavstvo [Building Material Science]. Rivne: NUVHP. [in Ukrainian].

20. Vorotyntseva, L.I. (2015). Vykorystannia kaltsiievo-zalizovmisnykh vidkhodiv dlia okulturiuvannia zroshuvanykh mineralizovanykh vodamy i tekhnohenko zabrudnenykh hruntiv [Use of calcium-iron-containing wastes for the reclamation technogenically contaminated soils that irrigated mineralized water]. Ahrokhimiia i gruntoznavstvo, 83, 67-73. [in Ukrainian].

21. Dobryva ta yikh vykorystannia: dovidnyk [Fertilizers and their use: a guide]. (2010). Kyiv: Aristei. [in Ukrainian].

22. Hyrlia, L. M., Hamaiunova, V. V., Khonenko, L.H., & Makarova, H.A. (2009). Stan ta perspektyvy hipsuvannia hruntiv pivdnia Ukrainy [The state and prospects of gypsum applying in soil in the south of Ukraine]. Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia, 3, 124-130. [in Ukrainian].

V.P. Kovalchuk, O.P. Voytovich, V.P. Lukashuk

Automated system of calculations in chemical soil reclamation

Abstract. The article highlights the actual problems of increasing the acidity and soils of soils in Ukraine. The current state and ways of neutralizing the toxic effect on the plant of acidity and salinization, scientific researches on combining the technology of chemical melioration with modern measures of agrarian production are analyzed. The bribes on improving the quality of irrigation water and the introduction of chemilirants with irrigation water have been analyzed.

On the basis of the analysis of the state of scientific research, the task of developing algorithms and software for the automation of calculations of soil soil reclamation is set. The methods and calculation formulas for chemical melioration of acidic and sooty soils for the development of automated calculation algorithms are analyzed and systematized.

The task was solved by developing algorithms and software for calculating the dose of limestone and gypsum-containing materials. In developing algorithms regression dependence of the dose of lime from different pH and granulometric composition of soil was constructed. The publication systematized the properties of limestone materials and compiled a database of chemiljorants, systematized the properties of meliorants for gypsum, and compiled a corresponding database. The algorithms are implemented in the form of computer software calculations that work in the network over the Internet.

Key words: lime and gypsum usage, development of algorithms, databases and knowledge, regression dependence.

В.П. Ковальчук, О.П. Войтович, В.П. Лукашук

Автоматизированная система расчетов химической мелиорации почв

Аннотация. В статье выделены актуальные проблемы повышения кислотности и осолонцевания почв в Украине. Проанализировано современное состояние и пути нейтрализации токсического действия на растение кислотности и осолонцевания, научные исследования из сочетания технологии химической мелиорации с современными мерами аграрного производства. Проанализированы публикации по улучшению качества поливной воды и внесения химмелиорантов с поливной водой.

На основе анализа состояния научных исследований поставлена задача разработки алгоритмов и программного обеспечения для автоматизации расчетов химической мелиорации почв. Проанализированы и систематизированы методы и расчетные формулы для химической мелиорации кислых и осолонцованных почв для разработки алгоритмов автоматизированного расчета. Задача решена с помощью разработки алгоритмов и программного обеспечения расчета внесения доз известково-содержащих и гипсосодержащих материалов. При разработке алгоритмов построены регрессионные зависимости дозы известки от разного pH_{con} и гранулометрического состава почвы. В публикации систематизированы свойства известковых материалов и составлена база данных химмелиорантов, систематизированы свойства мелиорантов для гипсования и составлена соответствующая база данных. Алгоритмы реализованы в виде компьютерных программ расчета, работающих в сети через Интернет.

Ключевые слова: известкование, гипсование, разработка алгоритмов, базы данных и знаний, регрессионные зависимости.