

УДК 631.81.633.15

© 2010

*Крамарев С.М., доктор сільськогосподарських наук,
Скрипник Л.Н., Артеменко С.Ф., Федорченко Ю.Н., кандидати сільськогосподарських наук*
Інститут зернового господарства НААН України

*Писаренко П.В., доктор сільськогосподарських наук,
Ласло О.О., кандидат сільськогосподарських наук*
Полтавська державна аграрна академія

*Жученко С.И., кандидат сільськогосподарських наук,
Сыроватко В.А., кандидат біологічних наук,
Шевченко В.Н., аспірант**

Днепропетровский областной государственный проектно-технологический центр
охраны плодородия почв и качества продукции «Облгосплодородие»

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ КУКУРУЗЫ

СООБЩЕНИЕ I

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор Г.П. Жемела

Вивчена зміна хімічного складу рослин кукурудзи в онтогенезі. Встановлені критичні періоди поглинання живильних речовин із ґрунту агрофітоценозом кукурудзи. Розглянуті різні види діагностик (ґрунтова, візуальна, хімічна). Показані перспективи їх використання для визначення оптимальних доз добрив в агрофітоценозі цієї культури.

Ключевые слова: кукуруза, диагностика, дозы удобрений, урожайность зерна.

Постановка проблеми. Кукурудза пред'являє більші вимоги до агротехніки її вирощування [1] і, особливо, до умов мінерального живлення [12]. Її висока отзывчивість на добрива, зокрема, пов'язана з тим, що вона, як високоурожайна культура, багато споживає і активно вивчає з ґрунту велику кількість поживних речовин. Цей процес (з різною інтенсивністю) відбувається постійно на протязі всього, досить тривалого, періоду вегетації [6-7], в течение якого вона поглинає з ґрунту в 2-3 рази більше поживних елементів, ніж інші зернові культури, вирощувані в умовах степної зони України [7]. Так, на вирощування однієї тонни зерна її рослини витрачають 34 кг азоту, 12 кг фосфору і 20 кг калію [4]. Отже, при середньому урожаї 50 ц/га кукуруза вивчає з ґрунту 170 кг азоту, 60 кг фосфору і 100 кг калію, які в процесі їх використання поступають в рослину дуже нерівномірно (А.І. Симакін, 1961). Для отримання високих урожаїв і високої оплати додатковим урожаєм вносимих добрив важливо не тільки створювати підвищений рівень вмісту поживних речовин в ґрунті,

але й знати і, головне, передбачити процеси, які можуть відбуватися між ґрунтом, добривом і рослинами в течение вегетаційного періоду. Це дає можливість використовувати отриману інформацію для регулювання вищезгаданих процесів шляхом застосування в агроценозах кукурузи оптимізованих доз добрив в найбільш сприятливі терміни. В той же час численні польові досліди і спостереження в умовах виробництва переконливо свідчать, що добрива для прояву їх найбільш високої дієвості необхідно застосовувати вміло і на належному рівні. Нельзя також забувати, що в разі неправильного (без наукового обґрунтування) їх застосування вони можуть і не дати очікуваного підвищення урожаю зерна, а в окремих випадках – особливо в дуже посушливі роки – високі їх дози негативно впливають на його величину. Випадки слабкого дієвості добрив, на жаль, не рідко зустрічаються в умовах виробництва. Зниження урожайності зерна відбувається, як правило, в результаті невмілого їх застосування, т.е. без урахування біологічних особливостей удобряемого рослини, а також конкретних ґрунтово-кліматических умов регіону. При механічному, шаблонному підході до вирішення цього питання, без знання загальних основ ґрунтового живлення рослин і застосування добрив і особливостей реакції на умови живлення кукурудзних рослин, отримати позитивний результат від їх застосування не завжди вдається. Одним з методів, що сприяють позитивному вирішенню цієї проблеми, є ґрунтова і рослинна діагностика [1, 8].

* *Руководитель – доктор сільськогосподарських наук С.М. Крамарев*

Производственная практика убедительно показывает, что особенно ценными становятся результаты, когда они будут получены в начале вегетационного периода [2], потому, что на их основании можно своевременно внести коррективы в систему применения удобрений этой сельскохозяйственной культуры. В данном случае диагностика, как оперативный контроль и регулирование минерального питания на протяжении всего онтогенеза растений, – основа получения высоких и устойчивых урожаев зерна кукурузы, поскольку без глубокого и всестороннего изучения вопросов, связанных с минеральным питанием растений, успешное применение удобрений не возможно [5, 7]. К тому же растения поглощают элементы минерального питания в таком количественном отношении, которое отвечает их биологическим потребностям [4, 6]. Учёные СНГ являются пионерами в развитии диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур [7-8]. Поэтому классические работы В.В. Церлинг, К.П. Магницкого, Ф.М. Куперман, Ю.К. Кудзина, А.Я. Гетманца и др. нашли широкое развитие не только в странах СНГ, но и получили признание среди коллег в дальнем зарубежье. Разработка системы диагностики минерального питания кукурузы позволяет дифференцировать дозы удобрений и оптимизировать сроки и способы их применения в зависимости от уровня плодородия почвы, а также запасов в ней элементов питания в подвижной форме и с учётом потребности в них растений кукурузы в течение вегетации. Эти данные особенно важны при расчете оптимальных доз удобрений на получение запланированного урожая требуемого качества. Особенно возрастает актуальность этого вопроса при внедрении в производство элементов точного земледелия.

В первом сообщении освещаются такие аспекты вышеобозначенной проблемы как:

- актуальность проблемы на современном этапе;
- всесторонний анализ научных литературных источников по тематике исследований;
- установление недостатков и преимуществ общепринятых методик диагностики минерального питания растений.

Экспериментальные результаты, их анализ и научное обоснование будет изложено в следующих сообщениях.

Анализ основных исследований и публикаций, в которых освещено решение проблемы. Существуют различные методы определения потребности растений в удобрениях [8]. Из них наиболее применимы пока только три: 1) наблюдение

за морфофизиологическим состоянием растений или листьев; 2) химический анализ почвы и растений; 3) полевой опыт [7-8].

Результаты научных исследований и производственная практика убедительно показали, что потребность растений кукурузы в минеральном питании необходимо устанавливать не по запасам общего количества питательных веществ, а по результатам анализа почвы на содержание в ней подвижных их форм [1, 4, 5, 7, 8]. Ведь ни для кого уже не остается секретом общепризнанное положение агрохимической науки о том, что разработать правильную систему применения удобрений невозможно, если предварительно не провести комплексный анализ образцов почв, отобранных с возделываемых полей, а также не изучив изменения, происходящие с химическим составом растений в онтогенезе [6]. Использование диагностики минерального питания дает возможность повысить эффективность минеральных удобрений на 20-25% [7]. Ещё в 1840 г. на это обращал внимание исследователей Ю. Либих, который предложил для правильного внесения удобрений делать анализы почвы и растений [9-10]. Анализы растений должны показать, что им нужно, а анализы почвы укажут, чего в ней не хватает [10]. Следует подчеркнуть, что на протяжении длительного времени исследовательская мысль была обращена на поиски быстрых, простых и достаточно точных методов определения количества и качества, доступных растению питательных веществ почвы. Научный поиск, который проходил в этом направлении, условно можно разделить на следующие этапы:

- химические анализы почв на первых порах ограничивались валовым определением элементов, играющих важную роль в жизни растений, но первые же попытки перехода от валового анализа к определению плодородия почв показали, что нет прямой связи между этим анализом и урожайностью [9];

- в конце 50-х годов XIX столетия наметился переход к исследованию химического состава водных вытяжек [10];

- позднее отдельные исследователи (во Франции – Соссюр (1804), Шлезинг (1866), затем Ван Циль (1916), а также русские учёные А.А. Шмук (1921-1923); М.С. Кузьмин (1920); Е.А. Жориков (1930); Н.А. Комарова (1939); Н.С. Циганок (1940); П.А. Крюков (1943) и др.) предложили изучать почвенный раствор [9];

- длительные анализы показали, что ни с помощью водных вытяжек, ни с помощью почвенных растворов составить надёжную характеристику

тику плодородия почвы и потребности растения в удобрениях оказалось невозможным [10];

- следующим шагом на этом пути явились почвенные вытяжки слабыми растворами кислот; в этом направлении выдающуюся роль сыграли работы Д.Н. Прянишникова и его учеников [9];

- на Международной конференции ассоциации почвоведов, прошедшей в (1933 г.) в Копенгагене, было принято решение о необходимости проведения конкурсного испытания химических методов, с помощью которых проводится определение потребности почв в удобрениях, с последующей постановкой полевых и вегетационных опытов на тысяче отдельных почв. В их проведении приняли участие А.Т. Кирсанов, И.В. Тюрин, Н.И. Соколов, М.М. Кононова, И.П. Антипов-Каратаев, А.А. Машлова и др. [9-10];

- предложенные ими химические методы и разработанные градации обеспеченности элементами питания для некоторых типов почв прочно вошли в практику агрохимических исследований [8, 22];

- во многих странах мира предложены свои эксклюзивные методы анализа почвенных образцов [9, 10];

- в США для качественной характеристики почв используют уксуснокислую вытяжку, в которой определяют 10 химических элементов (N, P, K, Mg, Ca, Fe, Al, Mn, S, Cl) [10];

в Англии фосфор и калий определяют из одной вытяжки, состоящей из смеси 0,5 N растворов уксусной кислоты и уксуснокислого аммония [10];

- в Голландии азот, фосфор, калий, хлор и общую концентрацию солей определяют в водной вытяжке из почвы [10];

- в Германии азот, фосфор и калий определяли из одной ацетатно-буферной вытяжки с pH 3,8 и результаты переводили не на 1 кг массы почвы, а на литр почвы (почву не отвешивают, а отмеряют), что позволяет сразу вычислить запасы питательных веществ в 1 м^3 [10].

Одним из распространенных методов диагностирования потребности кукурузы в удобрениях является определение легкоподвижных соединений питательных веществ в почве. Химический метод почвенного анализа опирается на предположение о том, что корни извлекают питательные вещества таким же образом, как слабые кислоты или буферные смеси, и что имеется простая прямая зависимость между концентрацией ионов в почве и поглощением их растением. Однако это предположение в большинстве случаев не оправдывается [10]. Следует также обратить внимание на такой факт, что средний образец

почвы, взятый в поле для анализа, представляет только около одной десятиллионной части пахотного слоя почвы, и ошибка при взятии образца, по меньшей мере, в десять раз превышает ошибку лабораторного анализа. Поэтому ныне ещё несовершенны и далеки от объективности современные методы анализа почв и растений [10]. В связи с этим возникла необходимость в проведении их сравнительной оценки с целью определения наиболее приемлемых для степной зоны Украины, чему и посвящена данная статья.

Цель исследования. Целью данного комплексного многолетнего исследования стал поиск оптимизации методов диагностики минерального питания растений кукурузы для получения стабильно высоких и качественных урожаев.

Методы исследований и методика их проведения. Исследования проводили в условиях полевых опытов на Эратовской опытной станции Института зернового хозяйства НААН Украины (1986-2009 гг.). Почвенный покров опытной станции представлен черноземом обыкновенным малогумусным тяжелосуглинистым на лессе. Результаты проведенных агрохимических анализов показали, что валовое содержание гумуса (по И.В. Тюрину) в пахотном слое составляет 3,5-4,0%, общего азота в этом же слое почвы – 0,21-0,22%, фосфора – 0,10-0,12%, валовое содержание калия – 2,0-2,3%. Количество легкогидролизуемого азота (по И.В. Тюрину и М.М. Кононовой) – 10,0-11,4 мг/100 г сухой почвы, при возможности пополнения его доступных форм за счет энергии нитрификации – 2,4-2,8 мг на 100 г почвы. Содержание минерального азота в почве очень изменчиво. Устойчивое его количество обычно составляет 1-2% от общего. При длительной распашке и окультуривании данных почв в пахотном слое мобилизуется азот почвенного гумуса и увеличиваются запасы минерального и легкогидролизуемого азота. Валовый запас легкогидролизуемого азота составляет в пахотном слое 0,1-0,3 т/га, а в метровом слое – 0,4-0,9 т/га. Содержание NH_4^+ в метровом слое 0,4-0,9 т/га. Содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое 8,8-9,8 мг, калия – 14,3-15,4 мг/100 г почвы (метод Ф.В. Чирикова). Реакция почвенного раствора гумусового горизонта близка к нейтральной ($\text{pH}_{\text{водн.}} - 6,75$). Нейтральная реакция почвенного раствора в пахотном слое способствует высокой жизнедеятельности микроорганизмов и указывает на необходимость внесения в этих почвах физиологически кислых минеральных удобрений. Высокая насыщенность основаниями при емкости поглощения от 34 до 43 мг/экв. и преоб-

ладании в почвенно-поглощающем комплексе катионов кальция (23,9-28,7 мг/экв. на 100 г почвы) свидетельствует о высокой буферности этих черноземных почв.

Отбор почвенных проб в полевых опытах с удобрениями проводили согласно утвержденных программ на глубину 0-30 см в первом и третьем повторениях. Отбор почвенных проб выполнялся согласно ГОСТ 28168-89. Почвенные образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и размалывались с помощью почвоизмельчителя ИПП1-2. Для анализа использовались смешанные почвенные образцы путем прямого смешивания десяти индивидуальных проб. В особых случаях для получения достоверной информации смешанный образец готовился из пятнадцати индивидуальных проб, взятых буром по диагонали делянки. В свою очередь, для лабораторных исследований из смешанного образца, отбирали среднюю аналитическую пробу.

Агрохимические исследования отобранных почвенных образцов проводили согласно стандартизованных методов: содержание гумуса определяли методом И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-19; общий азот – методом Кьельдаля ГОСТ 26107-84; валовый фосфор – колориметрическим методом на фотоэлектроколориметре КФК-2, ГОСТ 26261-84; общий калий – на пламенном фотометре Flapho-5; содержание обменного аммония – колориметрическим методом с помощью реактива Несслера на фотоэлектроколориметре КФК-2, методом ЦИНАО ГОСТ 26489-85; содержание $N-NO_3$ – спектрофотометрическим методом на спектрофотометрах СФ-26 и СФ-46 методом ЦИНАО по ГОСТ 26488-85 и ГОСТ 26951-86 непосредственно в сырых образцах почвы сразу же после их отбора, а нитрификационную способность почвы – по С.П. Кравкову в модификации Института зернового хозяйства НААН Украины после семисуточного компостирования в термостате ТС-80 М-2, с последующим определением $N-NO_3$ с помощью спектрофотометра СФ-46. Определение подвижных форм фосфора и калия проводили по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. Извлечение фосфора и калия из одной навески почвы проводили 0,5 N раствором CH_3COOH при соотношении почва : раствор = 1:25 с последующим определением фосфора на фотоэлектроколориметре КФК-2, а калия – на пламенном фотометре Flapho-5. Аналитические линии в спектре пламени Flapho-5 определяли с помощью монохроматографа (светофильтр) $\lambda = 768$ нм. Их интенсивность измерялась фотоэле-

ментом. В результате строились калибровочные графики для определения калия по стандартным растворам, содержащим соответствующую концентрацию этого макроэлемента.

Отбор растительных проб проводили в утренние часы (до 10 часов), согласно «Методических указаний по проведению агрохимических анализов почвы и растений», принятых в ИЗХ НААН Украины (Днепропетровск, 1978). Все анализы выполняли параллельно в двух несмежных повторениях полевого опыта, – как правило, в первом и третьем. Смешанный растительный образец составлялся из 10 типичных для соответствующего варианта опыта растений. Отобранная растительная масса расчленялась на основную и побочную продукцию, измельчалась до частиц (размером 0,5 мм), подсушивалась до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу LP-320/2. В растениях кукурузы, отобранных в фазы развития 6-8, 10-12 листьев, выметывания метелок, молочной, восковой, полной спелости, определяли общий азот классическим методом Кьельдаля, общий фосфор – колориметрическим методом с использованием аскорбиновой кислоты в качестве восстановителя по синему фосфорномолибденовому гетерополикомплексу, общий калий – на пламенном фотометре с использованием того же раствора (полученного после мокрого озоления), который применялся и для определения общих форм азота и фосфора. Сжигание растительной массы проводили путем мокрого озоления по классическому методу Гинзбург, Щегловой и Вульфнус.

В опытах высевали районированные гибриды кукурузы первого поколения. Площадь посевной делянки – 210 м²; учетной – 100 м²; повторность трехкратная. На поделяночных работах использовали сельскохозяйственные машины производственного подразделения Эрастовской опытной станции НААН Украины. Агротехника в полевых опытах соответствовала зональным рекомендациям для степной зоны Украины.

Результаты исследований. Одним из наиболее старых, хорошо апробированных и широко распространённых методов установления потребности растений в азотных удобрениях, является спектрофотометрический метод [15], с помощью которого проводится определение содержания в анализируемой почве $N-NO_3^-$. При работе данным методом, в связи с большой динамичностью в почве анионов $N-NO_3^-$, можно получить достаточно объективную информацию о содержании в ней подвижного азота, но только лишь на момент отбора почвенных проб. В дальнейшем его

содержание в зависимости от характера гидротермических условий года может существенно измениться в ту или иную сторону [13]. Наиболее приемлемыми методами определения содержания фосфора в данной почве являются метод Карпинского-Замятиной, методы Чирикова и Мачигина [8], а калия – метод Масловой и метод Чирикова [13].

На основании полученных многолетних данных содержания подвижных форм основных макроэлементов разработана градация черноземов обыкновенных по их обеспеченности питательными веществами (табл. 1-4). Многолетняя практика показала, что наиболее эффективно и экономически выгодно минеральные удобрения можно использовать только в тех случаях, когда их применяют с учетом фактического содержания подвижных (усвояемых) питательных ве-

ществ в почве конкретного удобряемого поля [19]. Для этого необходимо предварительно установить обеспеченность почвы подвижными, т. е. доступными для растений формами соединений азота, фосфора и калия (табл. 1-4) [2, 7, 8]. Поэтому периодические анализы образцов почвы нужны как для определения потребности в удобрениях, так и для оценки эффективности всех воздействий на почву [7-8]. Тем самым систематические анализы почвы дают ценный материал для экономически продуманной системы хозяйствования и одновременно являются незаменимым средством контроля почвенного плодородия. Почвы хозяйств Украины, на основании результатов агрохимических исследований и содержания в них главных элементов питания, представленных в агрохимических картограммах, делят на шесть групп (табл. 1-4).

1. Группировка чернозёмов обыкновенных по их обеспеченности питательными веществами (А.Я. Гетманец, 1980; Н.М. Городний, 2006)

Обеспеченность почвы питательными веществами	Содержание, мг/кг почвы		
	N-NO ₃ ⁻ после семисуточного компостирования	P ₂ O ₅ по Чирикову	K ₂ O по Масловой
Очень низкая	5	20	50
Низкая	5-15	20-50	50-100
Средняя	15-30	50-100	100-150
Повышенная	30-45	100-150	150-200
Высокая	45	150-200	200-300

2. Группировка почв по содержанию подвижных форм азота, мг/кг (А.Я. Гетманец, 1985)

Группа почв	Содержание подвижных форм азота	Содержание легкогидролизованного азота		Нитрификационная способность почвы	Минеральный азот (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻)
		метод определения			
		Тюрина и Кононовой	Корнфильда		
I	Очень низкое	<30	<100	< 0,5	< 1,0
II	Низкое	31-40	101-150	0,5-0,8	1,1-1,5
III	Среднее	41-50	150-200	0,8-1,5	1,6-2,4
IV	Повышенное	51-71	>200	1,5-3,0	2,5-3,0
V	Высокое	71-100	–	3,0-3,6	>3,0
VI	Очень высокое	>100	–	–	–

3. Группировка почв по содержанию подвижных соединений фосфора, мг P₂O₅ на 1 кг почвы (Н.М. Городний, 2006)

Группа почв	Содержание подвижных форм фосфора	Метод определения
		Мачигина
I	очень низкое	<10
II	низкое	11-15
III	среднее	16-30
IV	повышенное	31-45
V	высокое	46-60
VI	очень высокое	>200

4. Групування ґрунтів за вмістом рухомих форм калію, мг К₂О на 1 кг (Н.М. Гродний, 2006)

Група ґрунтів	Вміст рухомих форм калію	Метод визначення	
		Мачигіна	Чірикова
I	дуже низький	<50	<20
II	низький	51-100	21-40
III	середній	101-200	41-80
IV	підвищений	201-300	81-120
V	високий	301-400	121-180
VI	дуже високий	>400	>180

На основі результатів проведених аналізів зразків ґрунту визначають черговість внесення добрив і розраховують їх дози. В даному випадку слід відзначити, що тільки проведенням одних агрохімічних аналізів зразків ґрунту не можна обійтись, – необхідно вивчати вплив на їх плідність комплексного впливу багатьох факторів. На це в свій час звернув увагу А.Т. Кирсанов (1935): «плідність ґрунту не є функцією тільки хімічного складу, вона залежить і від фізичних властивостей, а також від біологічних процесів, не говорячи вже про агрономію в широкому значенні цього слова, яка може в корені змінити вихідну плідність ґрунту» [10]. Також встановлено можливість діагностики окремих показників якості отриманого врожаю в залежності від вмісту в ґрунті рухомих форм поживних речовин [8].

Не можна знехтувати і тим фактом, що в чорноземній зоні ґрунтий покрив контрастний (В.В. Медведєв, 2007). Неоднорідність ґрунтового покриву, ймовірно, була відома завжди, але через значні труднощі її вивчення вона як би не помічалась, а в прикладному аспекті – недо-

оцінювалась. Неоднорідність ґрунтів за агрохімічними параметрами вже давно і добре відома. Неоднорідність є імманентно присущим (вездесущим, за Е.А. Дмитрієвим, 1988) властивістю ґрунтового покриву. Для цього достатньо глянути на будь-яку, особливо детальну, ґрунтову карту. Не так вже складно перерахувати причини неоднорідності: 1) це різноманітність ґрунтоутворюючих порід; 2) зміна рельєфу; 3) рослинних спільнот; 4) клімату; 5) мікроклімату; 6) відмінностей в технології вирощування сільськогосподарських рослин і т. д. З останнього важливо підкреслити роль впливу сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур: обробки ґрунту; севооборотів; доз внесення добрив, які в силу багатьох недосконалостей суттєво посилюють неоднорідність ґрунтового покриву. На мікроуровні різноманітність ґрунтів ще більше зростає, що пов'язано з відмінностями в мікрорельєфі, рослинності, інших факторів ґрунтоутворення. В сучасних умовах необхідно враховувати фактор неоднорідності ґрунтового покриву і за агрохімічними показниками. Тому точне землеробство, про яке в останні роки говорять все більше і більше,



Рис. 1. Космічний знімок досліджуваної території, де позначені зафіксовані за допомогою GPS точки формування гніздових (загальних) зразків ґрунту пахотного горизонту

и оно постепенно завоевывает ключевые позиции в странах с развитым земледелием, не может базироваться на устаревших картограммных материалах. В связи с этим большую актуальность имеет изучение неоднородности почв по агрохимическим показателям, что необходимо для внедрения в производство точного земледелия (В.В. Медведев, 2007).

Обследование с использованием геоинформационных (ГИС) технологий выполняется на качественно более высоком уровне, с последующим составлением электронных карт распределения питательных веществ на обследованных участках. Для выполнения этих работ используются аэрокосмические снимки исследуемых территорий (рис. 1-2), а также применяют дистанционный метод анализа почв. На основании полученной информации проводится расчет доз удобрений на запланированный урожай с учетом существующей, на каждом конкретном поле, пестроты и неоднородности в содержании в почве подвижных форм питательных веществ (рис. 3-7).

Основным критерием неоднородности является вариация, то есть изменчивость показателей, которые характеризуют содержание в почве подвижных форм питательных веществ. Размах колебаний показателей в вариационном ряду указывает на меру его разнообразия или вариацию. Так как агрохимические показатели, характеризующие плодородие каждого поля, обычно варьируют в довольно широких пределах, о чем свидетельствуют представленные картограммы

(рис. 3-7), без их учета при расчете доз удобрений уже не обойтись. Поэтому часто бывает необходимым вариационный ряд разбить на отдельные части (ранги, классы), охарактеризовать их отдельным баллом (низкий, средний, высокий уровень плодородия) и на этом основании планировать дифференцированно внесение оптимизированных доз удобрений. При этом кажется вполне обоснованной такая гипотеза: чем выше коэффициент вариации, например, содержание подвижных элементов питания, в почве, тем будет более целесообразной дифференциация технологии внесения удобрений, которая должна учитывать содержание питательных веществ не всего возделываемого поля, а конкретно данного, пусть даже небольшого за площадью, участка. Это даст возможность со временем выровнять почвенное плодородие и устранить очень распространенную ныне его пестроту. На этой картограмме каждая точка имеет индивидуальную привязку во всемирной системе координат (рис. 2). Далее, используя разработанный алгоритм поверхностной аппроксимации, формируется функция, позволяющая с любой плотностью построить матрицу распределения анализируемых в образцах почвы значений гумуса и питательных веществ (рис. 3-7).

Примеры таких распределений приведены на (рис. 3-7), на которых четко видна существующая пестрота в почвенном плодородии, которая наблюдается на каждом конкретном поле.



Таким образом, полученные картограммы позволяют скоординировать нормы внесения удобрений под запланированный урожай, с учетом неоднородности почвенного покрова по содержанию в них подвижных форм питательных веществ. Это дает возможность агроному вносить удобрения только там, где это необходимо, и не вносить там, где без них можно обойтись. С этой целью для каждого поля необходимо иметь пространственно распределенную информацию о содержании в разных его частях подвижных форм питательных веществ. Поэтому прежде чем вносить удобрения нужно имеющиеся в наличии в хозяйствах поля разбить на отдельные участки. Затем на них необходимо разделить почвенный покров – в соответствии с содержанием в нем подвижных форм питательных веществ – на три группы: а) к первой группе относят бедные почвы, в них (для улучшения их питательного режима) вносят дополнительное количество удобрений в повышенных дозах; б) ко второй группе относят почвы среднеобеспеченные по содержанию питательных веществ, на которых дозы внесения удобрений должны быть равны выносу их выращиваемыми культурами; в) к третьей группе отнесены почвы хорошо обеспеченные подвижными формами питательных ве-

ществ, на которые удобрения можно не вносить вообще. Сегодня, параллельно с внедрением точного земледелия, получили развитие методы дистанционного зондирования и новые экспериментальные образцы приборов, позволяющие в режиме on-line регистрировать основные свойства почв, необходимые для планирования точного земледелия.

Такие приборы навешиваются на рабочие органы почвообрабатывающих машин, тракторы, комбайны и без отбора почвенных образцов и растений, без их транспортировки в лабораторию и без камеральных аналитических работ позволяют в процессе выполнения технологических операций (обработки почвы или сбора урожая) определять агрохимические показатели почвы. В этом состоит суть режима on-line. К этому же классу приборов относятся и средства аэрофото- и космической съемки, возможности которых также расширяются. Вместе с тем актуальными остаются и традиционные (наземные) средства контроля за содержанием в почве питательных веществ. К тому же данные, полученные с помощью обычных почвенно-агрохимических обследований, являются эталонными – они считаются более точными. На основе этого, опираясь на данные, строится оптимизированная система удобрения.

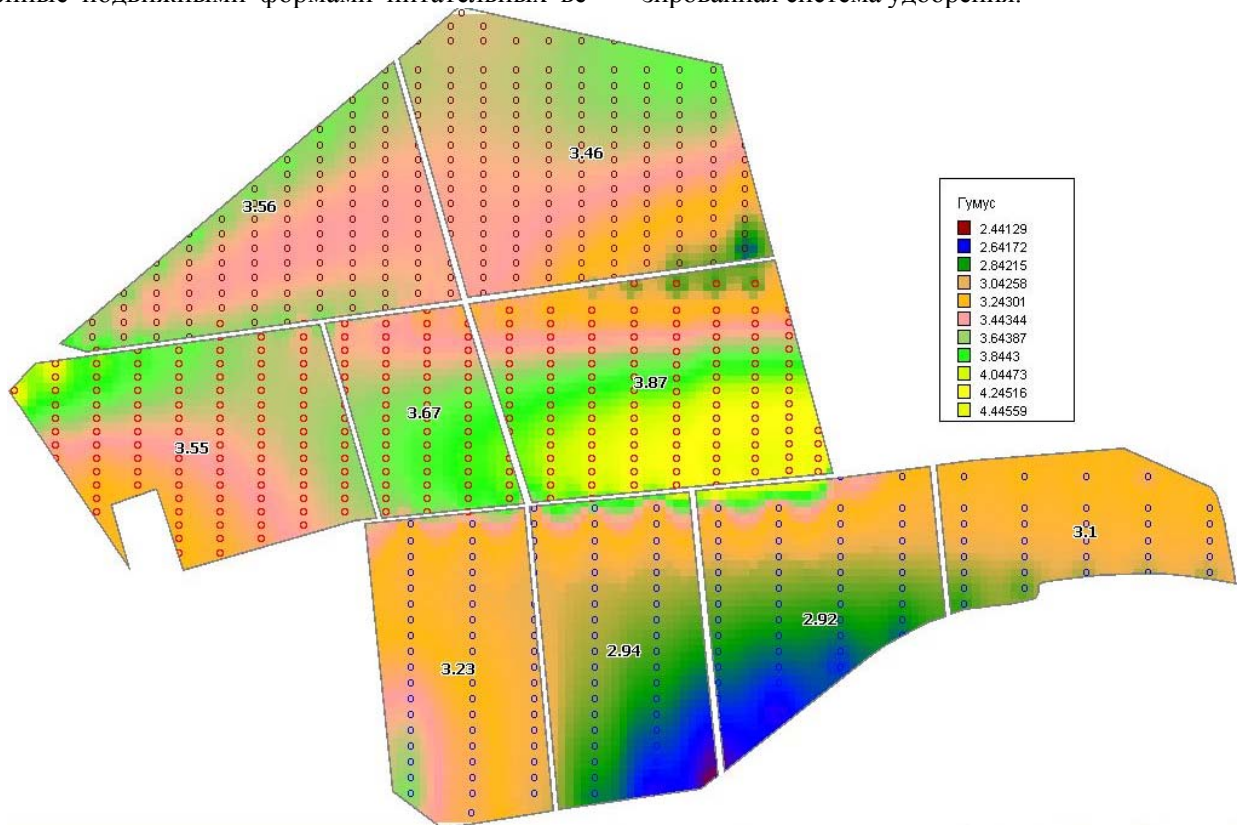


Рис. 3. Картограмма распределения содержания гумуса (%) в пахотном слое почвы (метод Тюрина в модификации Симаковой)

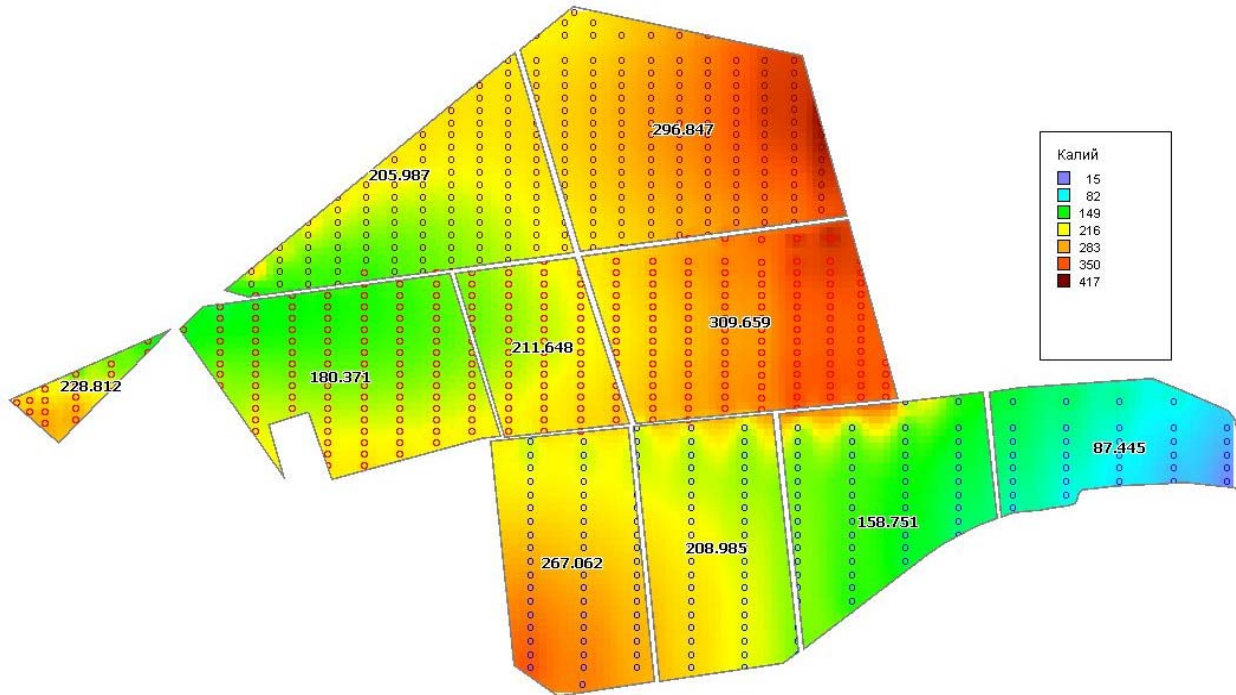


Рис. 4. Картограмма, на которой отображена неоднородность распределения в пахотном слое почвы подвижных форм калия, м/кг почвы (метод Чирикова)

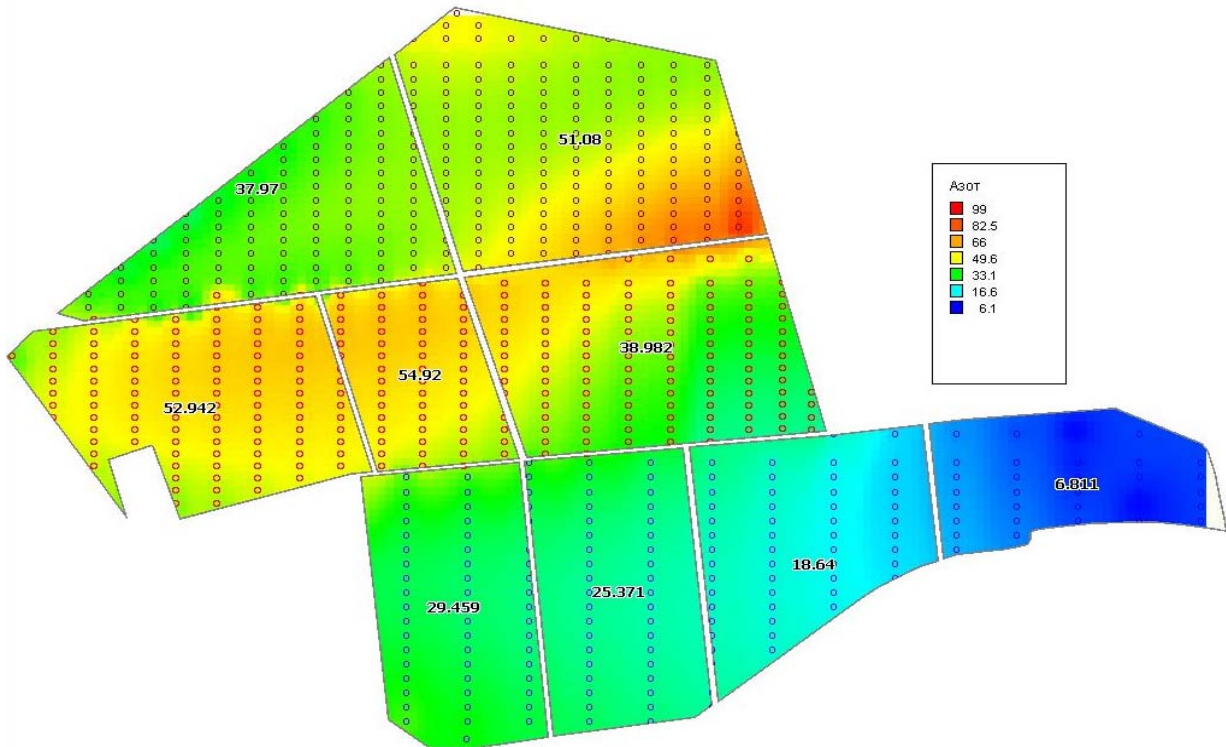


Рис. 5. Картограмма содержания в пахотном слое почвы минеральных форм азота, мг/кг

Очень наглядно существующая на обследованных полях пестрота почвенного плодородия показана на представленных картограммах (рис. 3-7). И, безусловно, с ней не считаться уже нельзя. Если ее и дальше не будем принимать во внимание, то тогда достичь высоких показателей в повышении продуктивности агроценозов будет доволь-

но проблематично. Конечно, в нынешних сложных экономических условиях выполнение таких агрохимических исследований с использованием современного оборудования, по каждому отдельному полю, экономически очень затратно и не всегда выполнимо в каждом хозяйстве: проведение таких исследований могут себе позволить

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

только высокорентабельные хозяйства, использующие на полях современную технику и техно-

логии, а также имеющие в своем распоряжении значительные площади земельных ресурсов.

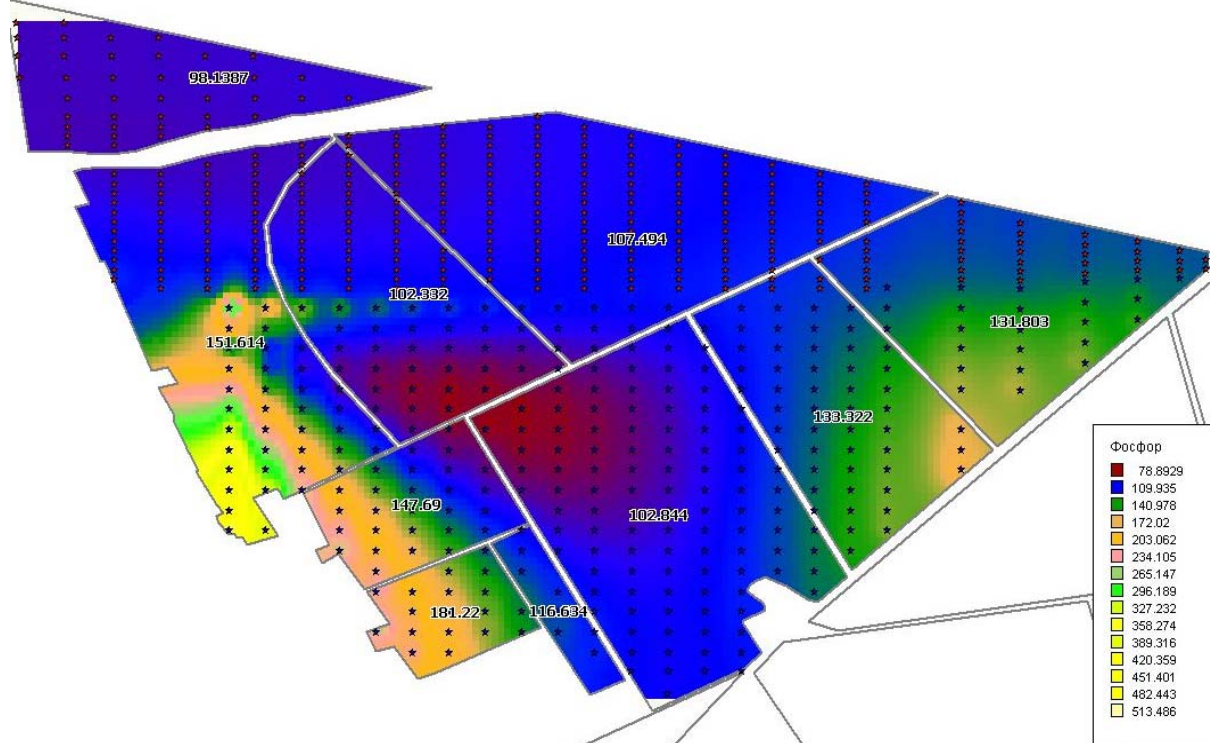


Рис. 6. Картограмма содержания в пахотном слое почвы (мг/кг) подвижных форм фосфора (метод Чирикова)

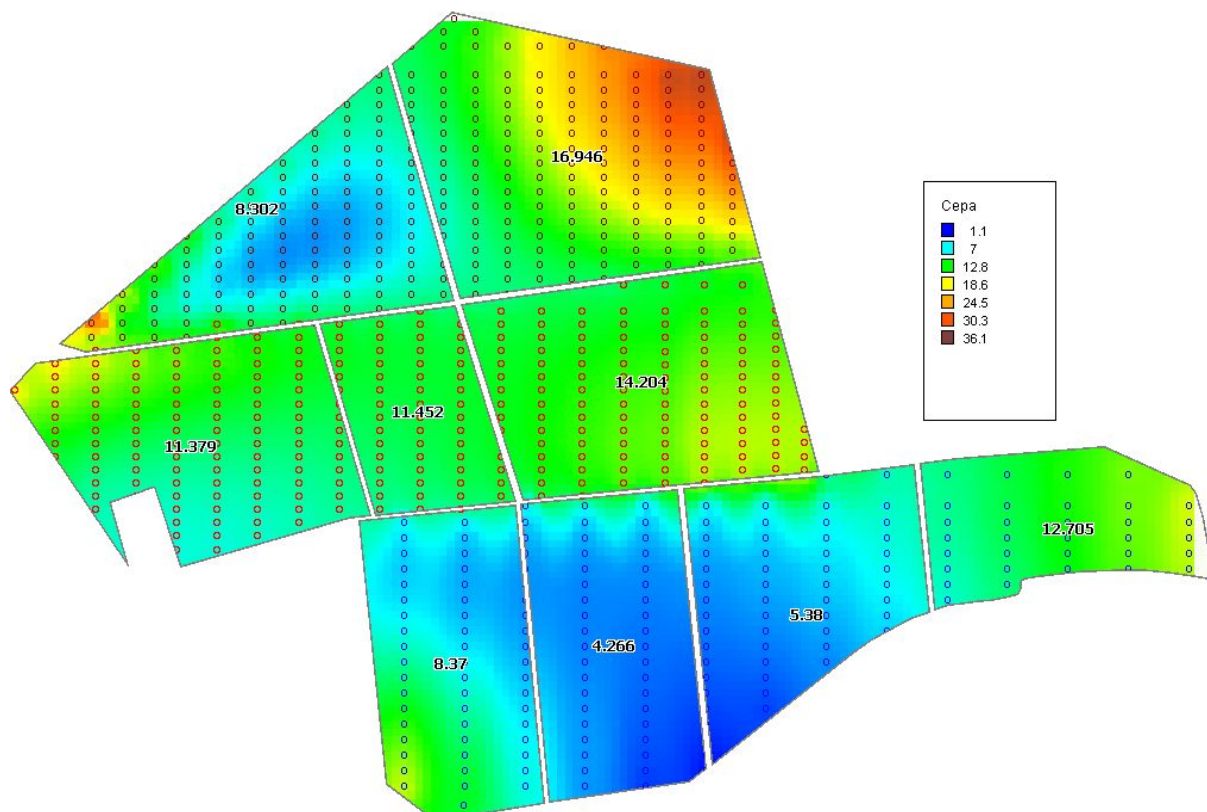


Рис. 7. Картограмма содержания в почве соединений серы

Исходные данные

Запланированный урожай ц/га: 50

Культура: Озимая пшеница (богар)

Содержание питательных веществ:

- N, мг/кг: 8
- P₂O₅, мг/кг: 165
- K₂O, мг/кг: 144

Тип грунта: Черноземы оподзоленные выщелоченные

План внесения органических удобрений, т/га: Гной ВРХ подстилковый, 0

Погодные условия: Благоприятные

Метод расчета: Балансовый

Результаты расчета

Площадь, га: 1

Расчетные нормы внесения по действующему веществу

Азота, кг/га	92	Азота, т	0,092
Фосфора, кг/га	44	Фосфора, т	0,044
Калия, кг/га	73	Калия, т	0,073

Расчетные нормы внесения в пересчете на удобрение

Нижняя норма содержания ДВ: Верхняя норма содержания ДВ: Всего, т:

Моноудобрения

Азотные, кг/га	Аммиачная селитра	267
Фосфорные, кг/га	Суперфосфат простой поро.	232
Калийные, кг/га	Калий хлористый	133

Комплексные удобрения

Нитрофоска: марка А	По азоту, кг/га	575
	По фосфору, кг/га	275
	По калию, кг/га	456

Рис. 8. Схема расчета доз удобрений с использованием принципа балансового метода и с учетом множества дополнений и корректировок, отражающих современное состояние агрохимии

Экономическая целесообразность внесения удобрений дифференцировано с учетом имеющейся в наличии на каждом конкретном поле пестроты почвенного плодородия не вызывает сомнения, потому, что каждое поле имеет свою, присущую только ему специфику, для выявления которой необходимо не ограничиваться проведением одних агрохимических исследований, а их желательно дополнять еще и другими не менее важными агрофизическими показателями. Чтобы убедиться в этом, нами предлагается программный продукт, который позволяет проводить корректировку, учитывающую не только агрохимические, а еще и гидрофизические свойства почвы. В данном случае расчет гидрофизических показателей, влияющих на скорость нитрификации гумуса и на коэффициент использования минеральных удобрений, проводится по представленной схеме (рис. 8), построенной по результатам дополнительных анализов определения термодинамического потенциала капиллярного компартмента почвенной влаги. С этой целью выполняется углублённый анализ естественного плодородия почвы – проводится количественная оценка нитрификационной способности гумуса. Это позволит произвести расчёт образовавшегося в почве нитратного азота (до-

ступного растениям) за определённый период времени в зависимости от сложившихся погодных условий (суммы положительных температур и количества выпавших осадков). Данная информация особенно актуальна в весенний период и позволяет скорректировать (в сторону уменьшения) дозы внесения азотных удобрений.

Следует также подчеркнуть, что существующие методы агрохимических исследований почв для установления потребности растений в питательных веществах не всегда в полной мере удовлетворяют запросы агрономов, и для получения дополнительной информации они всё шире дополняются методами растительной диагностики [2, 5, 8]. Поэтому для установления объективной потребности растений в питательных веществах почвенная диагностика дополняется методами растительной диагностики. На необходимость обращать внимание на растения указывал ещё в 1840 г. в своей книге „Химия в приложении к земледелию и физиологии“ (Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology) Ю. Либих [9]. Он утверждал, что „...сельский хозяин не должен оказывать малейшего доверия утверждениям неразумного химика, доказывающего на основании своих анализов, что поле содержит в неистощимом количестве те или другие пита-

тельные вещества. Плодородие поля зависит не от количества одного или многих питательных веществ, найденных анализом, а от доли этого количества, которую почва может передать растениям. Величину этой доли можно до настоящего времени установить только при посредстве самого растения". Поэтому многие земледельцы мало полагаются на данные почвенных анализов. Это и понятно, так как не все методы почвенной диагностики отличаются достаточной точностью.

Выводы. На основе теоретико-методологического подхода к проблеме диагностики минерального питания растений кукурузы и многоле-

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Кумарина Н.Н. Диагностика минерального питания кукурузы на зерно / Н.Н. Кумарина // Бюл. ВИУА. – 1987. – №79. – С. 36-38.
 2. Кумарина Н.Н. Ранняя почвенная диагностика и оптимизация азотного питания кукурузы, возделываемой на зерно / Н.Н. Кумарина // Бюл. почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1987. – Вып. 44. – С. 77-78.
 3. Коваленко В.Е. Потребление кукурузой основных элементов питания / В.Е. Коваленко, С.М. Крамарев, В.И. Чабан // Бюл. ин-та кукурузы. – 1992. – №75. – С. 52-56.
 4. Крамарев С.М. Потребление основных элементов питания кукурузой при комплексном применении средств химизации / С.М. Крамарев // Бюл. ин-та кукурузы. – 1995. – № 80. – С. 43-50.
 5. Крамарев С.М. Повышение коэффициента использования питательных веществ / С.М. Крамарев // Химия в сельском хозяйстве. – 1992. – №2. – С. 81-86.
 6. Крамарев С.М. Интенсивность поступления основных макроэлементов в растения кукурузы в онтогенезе / С.М. Крамарев, Л.Н. Скрипник, Ю.И. Усенко // Агрохимия. – 2002. – №12. – С. 21-30.
 7. Крамарев С.М. Удобрение кукурузы на черноземах обыкновенных в условиях степной зоны Украины: [монография] / Сергей Михайлович
 8. Крамарев. – Днепропетровск: Изд.-во «Новая идеология», 2010. – 668 с.
 8. Магницкий К.П. Диагностика потребности в удобрениях / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
 9. Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI века. Книга первая: Развитие учения о питании растений и удобрении земель от Древнего мира до XX столетия / В.Г. Минеев. – М.: Изд. МГУ, 2002. – 616 с.
 10. Минеев В.Г. История и состояние агрохимии на рубеже XXI. – Книга вторая: развитие агрохимии в XX столетии / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во, МГУ, 2006. – 660 с.
 11. Надточив Н.Ф. Дозы и сроки внесения азотных удобрений под кукурузу / Н.Ф. Надточив // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – №5. – С. 68-69.
 12. Никитишен В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии / В.И. Никитишен. – М.: Наука, 1984. – 214 с.
 13. Носко Б.С. Агрохимическая и агроэкологическая оценка эффективности применения минеральных удобрений под кукурузу на черноземе типичном / Б.С. Носко, Т.А. Юнакова // Агрохимия. – 1993. – №3. – С. 61-67.
- тних экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:
1. Проблема диагностики минерального питания растений кукурузы является актуальной для современного аграрного производства.
 2. Систематический анализ почвы является ценным материалом с точки зрения выявления экономической эффективности выращивания сельскохозяйственных культур.
 3. С целью получения более достоверной информации о состоянии почвенного покрова целесообразно использовать элементы точного земледелия, электронные векторизированные карты, специальные программные продукты.