

Принципы оптимизации азотного питания зерновых культур на уровне хозяйства

В.А. Романенков

Задачи оптимизации доз и соотношений минеральных удобрений, несмотря на длительный опыт и обилие расчетных методов, не становятся менее актуальными. Напротив, рост цен на материально-технические ресурсы и, как следствие, повышение себестоимости сельскохозяйственной продукции делают эту проблему ещё более острой. Необходимым инструментом для выполнения данной задачи в России является Географическая сеть опытов с удобрениями, созданная по инициативе Д.Н.Прянишникова. Официально опытная агрохимическая сеть начала свое существование с 1941 г. До 1970 г. с использованием её данных был установлен ряд закономерностей зонального действия видов и форм удобрений, определена эффективность средних доз удобрений. На основе обобщения этой информации определена эффективность действия удобрений на урожай основных сельскохозяйственных культур для преобладающих типов почв, и установленные средние дозы положены в основу рекомендаций применения удобрений в отдельных почвенно-климатических зонах и экономических районах страны (Нормативы..., 1985).

Тем не менее, в применении к отдельному хозяйству или полю средние дозы нуждались в уточнении. Наиболее распространенные корректировки уточняли дозы в зависимости от степени окультуренности почвы, величины планируемого урожая и технологии возделывания культур (Литвак, 1990). Применяемые расчетные методы оптимизации эффективности удобрений страдают недостатками, обусловленными трудностями трансформации растущего объема знаний в простые схемы, доступные практикам. Необходимость учета изменения цен на сельскохозяйственную продукцию и удобрения, а также учёт стохастического характера погодных условий – одна из основных трудностей при решении рассматриваемой задачи. Исследование подобных многофакторных систем во многом остается слабо изученным вопросом, несмотря на длительный опыт и разнообразие методов расчета доз и соотношения удобрений.

В работе проанализирована возможность ведения прибыльного земледелия при возделывании озимой пшеницы в условиях Московской области на основе управления дозами минеральных удобрений с учётом их окупаемости при изменении погодных условий и плодородия почвы, сортовой специфики, а также цен на удобрения. Средняя урожайность озимой пшеницы за 2005–2009 гг. составила в Московской области 2.78 т/га, при этом обеспечивается рентабельность производства товарного зерна пшеницы. Данный регион в настоящее время характеризуется невысокими показателями объемов произ-

водства и реализации зерна пшеницы, но обладает всеми потенциальными возможностями расширения данного направления специализации, особенно с учетом прогнозов благоприятного изменения климатических условий в XXI в. в Нечерноземной зоне (Биоклиматический потенциал..., 2006).

Расчёт доз азотных удобрений, обеспечивающих их окупаемость

На основе результатов исследований в специально заложенных на территории Центральной опытной станции (ЦОС) ВНИИА (Домодедовский р-н, Московская область) краткосрочных опытов с возрастающими дозами удобрений создана база данных, включающая 380 результатов наблюдений за 32 года, с варьированием доз N, P и K в диапазоне 0-240, 0-180, 0-260 кг/га соответственно. Агрохимические показатели варьировали в следующих пределах: содержание гумуса - 1.1-1.9%; pH_{KCl} 4.1-6.6; подвижный

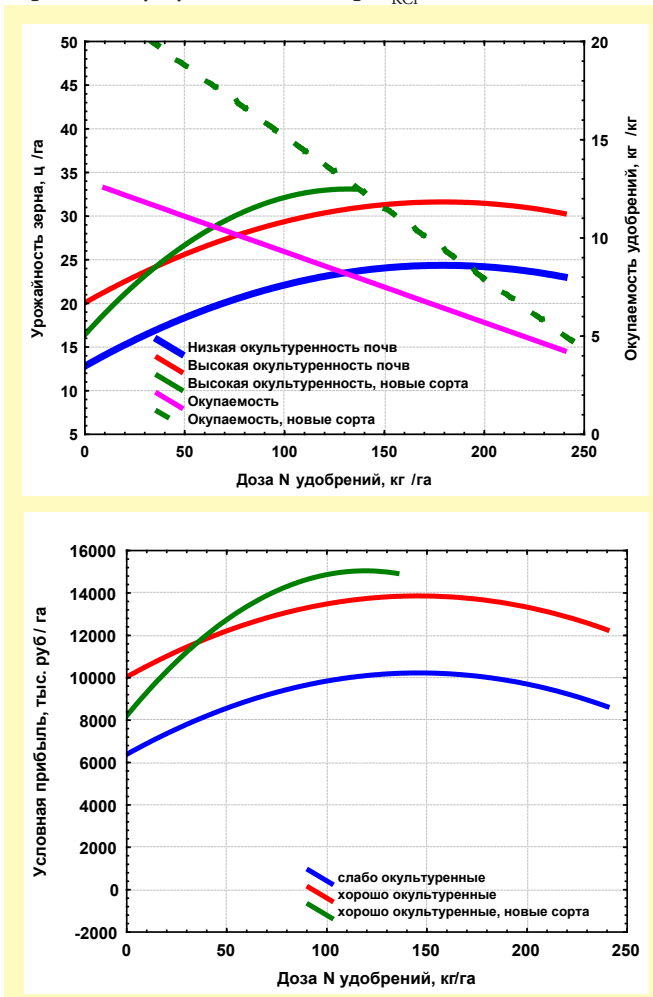


Рис.1. Изменение урожайности озимой пшеницы и окупаемости азотных удобрений при среднемноголетних погодных условиях (32 года) в условиях ЦОС ВНИИА

P_2O_5 11-166 мг/кг, подвижный K_2O 79-318 мг/кг. Для данной природной зоны, согласно нормативам окупаемости минеральных удобрений, под озимую пшеницу рекомендуемая доза NPK составляет 100-90-90 кг/га, соответственно. При этом эффективность применения удобрений в зависимости от влагообеспеченности может варьировать в пределах 40-70% по отношению к абсолютному контролю (Литвак, 1990).

Исследование выборки показало, что при низкой обеспеченности подвижным фосфором эффективность средних доз N удобрений (60-90 кг/га) действительно подвержена значительным колебаниям, обусловленным зависимостью от погодных условий. При средней обеспеченности подвижным фосфором наибольшие прибавки урожая озимой пшеницы достигаются при использовании доз N 60-90 кг/га, позволяя в благоприятные годы достичь прибавки 2.4 т зерна/га, при более высоких дозах эффективность N удобрений снижается, особенно заметно для доз N 120-150 кг/га. При низкой окультуренности почвы рост урожайности остается существенным при дозах N 120-150 кг/га, но абсолютная величина прибавки не превышает 1.2 т/га (Романенков и др., 2008).

Для исследования целесообразности варьирования дозами азотных удобрений с учётом почвенных показателей, доз удобрений, температуры и осадков

вегетационного периода, а также взаимодействия перечисленных выше показателей построен ряд регрессионных зависимостей продуктивности (Сиротенко и др., 2009). По полученным моделям рассчитаны функции урожайности, окупаемости удобрений и прибыли от продаж зерна. Для расчета критерия прибыльности использован стандартный условный показатель – валовая прибыль от продажи зерна за вычетом цен на азотные удобрения (Buresh, Witt, 2008). Реальный доход будет, естественно, ниже, чем использованный в расчётах, тем не менее, он является важным сравнительным критерием, позволяющим сравнивать экономическую эффективность предлагаемых агротехнических мер. Исследовались два крайних случая, отражающие максимальное и минимальное соотношение цен на зерно и на азотные удобрения, складывавшиеся в период 2006-2009 гг. без учёта затрат на внесение удобрений и уборку дополнительно полученной продукции, в соответствии с методикой, предложенной Бурешем и Виттом (Buresh, Witt, 2008).

Расчёты для среднемноголетних погодных условий при изменении соотношения цен

Результаты расчётов представлены в табл. 1 и на

Таблица 1. Урожай, дозы удобрений, их окупаемость и валовая прибыль при различных сценариях сельскохозяйственного производства								
Показатель	Обозначение	Единица измерения	Низкое плодородие	Высокое плодородие	Высокое плодородие, новые сорта		Низкое плодородие	
					Высокое плодородие	Низкое плодородие		
Погодные условия			Среднемноголетние			Максимально благоприятный год	Крайне неблагоприятный год	Крайне неблагоприятный год
Урожай без удобрений	Y_0	т/га	1.28	2.01	1.67	2.76	1.63	0.90
Максимальный урожай	Y_{max}	т/га	2.40	3.16	5.61	4.98	2.33	1.6
Цены* на зерно -3000 руб/т, N удобрения – 20350 руб/т								
Урожай при максимальной валовой прибыли GRF	Y	т/га	2.15	2.81	3.17	4.63	1.97	1.25
Доза азота при max GRF	F_N	кг/га	90	80	100	150	40	40
Окупаемость N при max GRF	AE_N	кг/кг	10	10	15	13	9	9
Изменение валовой прибыли GRF	ΔGRF	тыс.руб/га	-	+2.43	+3.30	+4.86	-2.01	-2.01
Цены на зерно -5000 руб/т, N удобрения – 12000 руб/т								
Урожай при максимальной валовой прибыли GRF	Y	т/га	2.38	3.11	3.22	4.92	2.27	1.55
Доза азота при max GRF	F_N	кг/га	140	140	110	210	100	100
Окупаемость N при max GRF	AE_N	кг/кг	8	13	14	10	6	6
Изменение валовой прибыли GRF	ΔGRF	тыс.руб/га	-**	+3.39	+4.47	+7.74	-3.45	-3.45
* диапазон цен на продовольственное зерно 3 класса и аммиачную селитру в пересчете на 100% д.в.								
** + 5.25 к минимальному соотношению зерно/N удобрения.								

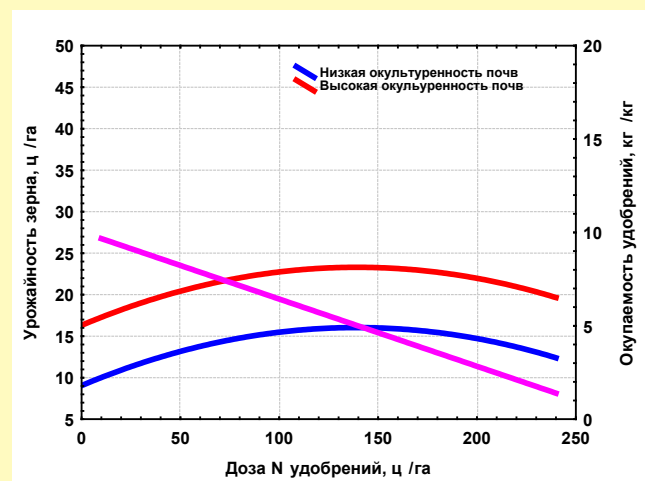
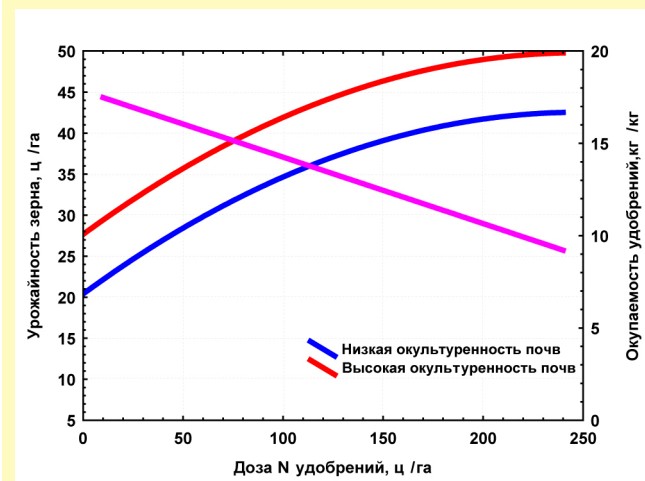


Рис.2 Расчетная эффективность азотных удобрений под озимую пшеницу для ЦОС ВНИИА в благоприятный (а) и неблагоприятный (б) вегетационные периоды

рис.1. Как видно из табл. 1, при расчёте оптимальной дозы удобрений, исходя из минимального соотношения цен зерно/удобрения, доза N, обеспечивающая максимальную прибыль, изменяется в диапазоне 80-100 кг/га. При этом обеспечивается получение 2.8 т/га зерна на хорошо окультуренных почвах и 2.1 т/га на сравнительно менее плодородных почвах. Окупаемость не превышает 10 кг зерна/кг удобрений. За счет роста плодородия доза N может быть сокращена на 10 кг/га. Применение новых сортов пшеницы на высоком агротехническом фоне позволяет повысить окупаемость удобрений до 15 кг/кг, но требует увеличения дозы N до 100 кг/га. Урожай при этом возрастает до 3.2 т/га (или 57% от максимального). Валовая прибыль при повышении окультуренности почвы возросла на 2400 руб/га, а при применении новых сортов – ещё на 900 руб/га. Использование новых сортов требует увеличения оптимальной дозы N до 100 кг/га, увеличивая окупаемость в 1.5 раза – до 15 кг/кг. При этом достигается урожайность 3.2 т/га.

При максимальном соотношении зерно/удобрения, гораздо более благоприятном для сельхозпроизводителей, оптимальная доза N может быть увеличена до 140 кг/га. При этом сразу виден выигрыш в окупаемости на окультуренных почвах, которая возрастает с 8 до 13 кг/кг. Урожай при оптимальной дозе удобрения возрастает до 3.1 т/га, приближаясь к максимальному. Использование новых сортов позволяет снизить оптимальную дозу N с одновременным увеличением окупаемости до 14 кг/кг. При этом урожайность повышается незначительно – с 3.1 до 3.2 т/га. Экономическая эффективность мероприятий по повышению плодородия может составить 3400 руб/га, применение новых сортов увеличивает ее на 1200 руб/га.

Таким образом, из проведенного анализа видно, что при высокой цене на удобрения и низкой на зерно почвы исследуемого хозяйства могут достичь среднего по области урожая зерна только при возделывании озимой пшеницы на хорошо окультуренных почвах. При этом увеличение плодородия почвы не приводит к соответствующему увеличению окупаемости удобрений. Дополнительный рост урожай-

ности и окупаемости (на 15 и 50%, соответственно) перспективен при возделывании новых сортов пшеницы. Рост продуктивности за счет внедрения новых сортов позволяет рекомендовать внесение 100 кг/га N – среднего показателя для Московской области. В остальных случаях учёт рентабельности производства требует снижения дозы N на 10-20 кг/га.

При более выгодных соотношениях зерно/удобрения доза азота в расчёте на среднесезонные погодные условия может возрасти до 140 кг/га, в этом случае окультурирование почвы обеспечивает дополнительное увеличение валовой прибыли не менее чем на 900 руб/га по сравнению с предыдущим экономическим сценарием, а внедрение новых сортов – снижение доз до 110 кг/га при тех же экономических преимуществах, которые давал подобный приём для неблагоприятного соотношения цен.

Расчёты с учётом погодных условий при изменении соотношения цен

Учёт реальных погодных условий позволяет в значительной степени скорректировать оптимальную дозу применяемых удобрений. Так, при наиболее выгодном соотношении цен зерно/удобрения оптимальная доза N может быть увеличена на 70 кг/га – до 210 кг/га, обеспечивая получение 4.9 т/га зерна при окупаемости 10 кг/кг. При этом валовая прибыль возрастает на 56%, составляя дополнительно 4300 руб/га по сравнению со среднесезонными условиями для почв с высоким уровнем плодородия (табл.1, рис.2).

При высокой цене на удобрения и низкой на зерно оптимальная доза N может также возрастать на 70 кг/га – до 150 кг/га, при окупаемости 13 кг/кг, обеспечивая урожай 4.6 т/га (или 90% от максимального). При этом валовая дополнительная прибыль возрастает вдвое по сравнению со среднесезонными условиями для почв с высоким уровнем плодородия, составляя не менее 2400 руб/га.

В неблагоприятный климатический год при наиболее выгодных соотношениях цен зерно/удобрения оптимальная доза N снижается с 140 кг/га до 100 кг/га, при этом обеспечивается урожайность 2.27 т/

га на почве с высоким плодородием и 1.55 т/га на сравнительно менее плодородной почве при окупаемости 6 кг/кг. Потери в прибыли по сравнению со среднемноголетним годом составят 3400 руб/га, что сопоставимо со среднемноголетним влиянием окультуривания почвы (табл.1).

В условиях того же года, но при низких соотношениях цен зерно/удобрения оправдывается внесение не более 40 кг/га азотных удобрений, при урожайности озимой пшеницы 1.97 и 1.25 т/га на почве со сравнительно высоким и низким уровнем плодородия, соответственно. Окупаемость N удобрений составляет 9 кг зерна/ кг удобрения, а потери прибыли по сравнению со среднемноголетним годом составляют более 2000 руб/га. Отметим, что снижение урожайности, обеспечивающей максимальную прибыль на почвах низкого плодородия по сравнению с окультуренными участками составляет при данном уровне цен 58% по сравнению с 46% при высоком соотношении цен зерно/удобрения. По сравнению с минимальным областным урожаем в 1995-2009 гг. 1.42 т/га на почвах низкого плодородия для территории ЦОС ВНИИА в неблагоприятный климатический год урожайность даже при внесении оптимальной дозы N удобрений окажется ниже среднеобластной. Устойчивое превышение урожайности над среднеобластной в неблагоприятный год при изменении цен на зерно и удобрения достигается только на окультуренных почвах.

Как видно из данного примера, ценовая ситуация значительно влияет на оптимальную дозу N удобрений и должна обязательно корректироваться с учётом складывающихся погодных условий, что позволит избежать применения излишка удобрений. При росте соотношения цен зерно/удобрения более актуальной становится увеличение доз N в благоприятных условиях, а при увеличении цен на удобрения и падении цены на зерно – корректировка минимальных доз, снижение которых может происходить вдвое для обеспечения максимальной при-

были. В условиях низких соотношений цен зерно/удобрения относительное изменение урожайности озимой пшеницы становится более чувствительным к изменению погоды, но абсолютные изменения прибыли будут ниже на 900-1500 руб/га. Каким образом может производиться необходимая корректировка?

Оптимальная доза азотных удобрений может быть рассчитана, исходя из набора факторов, определяющих взаимодействие внесённых доз с количеством осадков в период возобновления вегетации озимой пшеницы. Как показали расчёты по полученным регрессионным зависимостям, максимум приращения урожайности озимой пшеницы на единицу действующего вещества азотных удобрений для условий ЦОС ВНИИА пропорционален сумме апрельских осадков, определяющих условия увлажнения после возобновления вегетации. Для исследуемого хозяйства повышение окупаемости удобрений прибавкой урожая озимых составляет 0.6-1.5 кг зерна на 1кг азота на каждые 10 мм осадков(рис.3). Таким образом, зная условия увлажненности весеннего периода, можно скорректировать дозу N удобрений на ранних этапах вегетации.

Выводы

Предлагаемый подход уточняет закономерности формирования урожая зерновых культур для уровня отдельных сельскохозяйственных предприятий, позволяет осуществить прогноз эффективности минеральных удобрений с включением в расчёты погодных показателей и уровня плодородия почвы. Оптимальная доза N удобрений возрастает до 150-210 кг/га в годы с благоприятными погодными условиями, и её ежегодная корректировка требует обязательного учёта степени окультуренности почв.

При высокой цене на удобрения и низкой на зерно почвы исследуемого хозяйства могут достичь среднего по области урожая зерна только при возделывании озимой пшеницы на окультуренных почвах. Устойчивое превышение урожайности над среднеобластной в неблагоприятный год при изменении цен на зерно и удобрения достигается также только на окультуренных почвах. Внедрение новых сортов обеспечивает возможность снижения доз N при благоприятном соотношении цен зерно/удобрения и достижение максимальной окупаемости.

В.А. Романенков, Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, 127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а. e-mail: viua@online.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07-05-13600, в рамках которого проводилось создание обсуждаемой базы данных и ее анализ.

Литература

Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.] ; Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. метеоро-

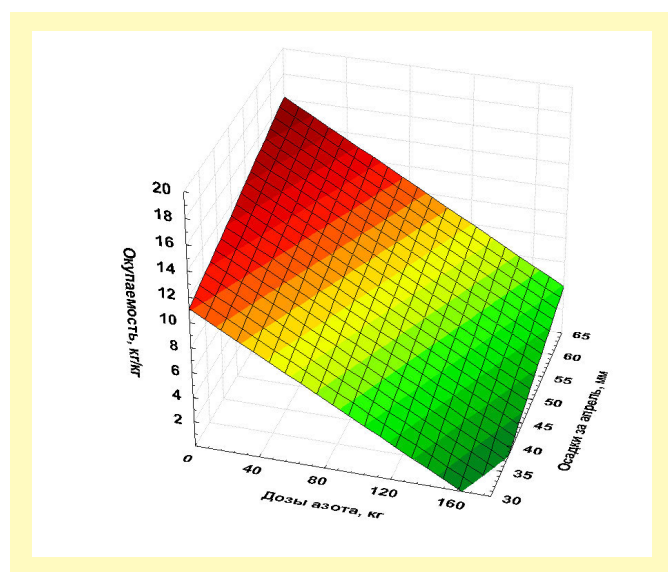


Рис. 3. Изменение окупаемости азотных удобрений под озимую пшеницу в зависимости от суммы апрельских атмосферных осадков и доз азотных удобрений для ЦОС ВНИИА.

логии. - М. : Т-во науч. изданий КМК, 2006. - 508 с.
Нормативы определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях. - М: КМУ ЦИНАО, 1985.- 237 с.
Литвак Ш.И, Системный подход к агрохимическим исследованиям.- М.: Агропромиздат, 1990. - 220 с.
Buresh R.J., Witt C. Balancing fertilizer use and profit in Asia's irrigated rice systems // Better Crops. 2008. Vol.92. N 1. P.18-22.

Романенков В.А., Листова М.П., Беличенко М.В., Рухович О.В. Система «Почва-удобрения-погода-урожай» при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах ЕТР// Плодородие. 2009. №15 (46). С. 14-17.
Сиротенко О.Д., Романенков В.А., Павлова В.Н., Листова М.П. Оценка и прогноз эффективности минеральных удобрений в условиях изменяющегося климата // Агрохимия, 2008. № 7. С.26-33.

Проблема повышения точности диагностики фосфатного состояния почв Украины

Христенко А.А., Иванова С.Е.

Установлены закономерности влияния свойств почв на точность определения содержания подвижного фосфора по методу на основе раствора гидрокарбоната натрия (Olsen, ISO 11263). Разработан способ повышения точности оценки фосфатного состояния щелочных почв. Точность повышается за счет учета влияния щелочности почв на результат химического анализа и усовершенствования шкалы обеспеченности почв доступным для растений фосфором.

Как известно, мировое сообщество получило новый вызов под названием “продовольственный кризис”. Важным направлением решения продовольственной проблемы многих стран является рост применения минеральных удобрений. При этом возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду. Проблемой остается и постоянный рост цен на сырье и энергоресурсы, необходимые для производства удобрений. В этих условиях возрастает значение точной диагностики плодородия почв. Для Украины, имеющей 32 млн. га пашни, успешное решение данной задачи чрезвычайно актуально.

В результате исследований, проведенных в ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», было установлено, что использование ряда химических методов для определения содержания подвижных форм элементов в почвах, часто ведет к большим ошибкам. В частности, ошибка определения содержания доступного для растений фосфора или калия в почвах на основе нормативных документов бывшего СССР может достигать 100-200% и больше. Это связано с тем, что большинство методов основано на использовании растворов сильных кислот, то есть “жестких” методов.

Установлено, что использование кислотных методов на всех легких (песчаных и супесчаных), а также сильнокислых почвах ($pH_{KCl} < 4.5$) разного гранулометрического состава, ведет к искусственному занижению, а на почвах с высоким содержанием апатитов — к искусственному завышению получаемых данных.

Одним из авторов была предложена концепция, рассматривающая фосфатную и калийную системы почв как открытые термодинамические системы. Характерной особенностью данных систем является высокая стабильность основных параметров (Христенко, 2009). Именно теоретические разработки позволили усовершенствовать методическую базу и предложить систему новых нормативных документов. На данное время разработано 8 национальных

стандартов Украины (ДСТУ) и 5 утвержденных проектов ДСТУ.

Установлены регионы и типы почв Украины, где применение конкретных химических методов определения подвижных форм азота, фосфора и калия наиболее целесообразно. При этом учитывается возможное влияние химического состава и физических свойств почв на искажение результатов химического анализа. Для отдельных методов разработаны новые группировки обеспеченности почв подвижным фосфором или калием. Данные нормативные документы устанавливают методы определения подвижных соединений азота, фосфора и калия на всех почвах страны.

Использование стандартов, в том числе: ДСТУ ISO 11263 (метод Олсена), ДСТУ 4114 (метод Мачигина), ДСТУ 4115 (метод Чирикова), ДСТУ 4405 (метод Кирсанова), ДСТУ 4729 (метод Карпинского - Замятиной), показывает, что реальный фосфатный уровень экстенсивно используемых пахотных почв находится на границе низких и средних значений обеспеченности, а калийный — в пределах средней обеспеченности.

Это объясняет хорошо известные эмпирические данные о высокой эффективности минеральных удобрений, особенно фосфорных, на всех типах пахотных почв, в том числе черноземах.

Практика использования новых нормативных документов, разработанных для Украины, показала, что только за счет повышения точности диагностики почвенного плодородия, корректировки доз и более рационального распределения удобрений по полям и культурам, их эффективность возрастает в среднем на 30%.

Несовершенство теории и методологии ведет к искажению (завышению или занижению) оценки не только отдельных полей, но и целых регионов. Так, иллюзия богатства черноземов на лессовых породах вызвана тем, что данные почвы содержат повышенное количество апатитов и полевых шпатов. Фосфор