

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.

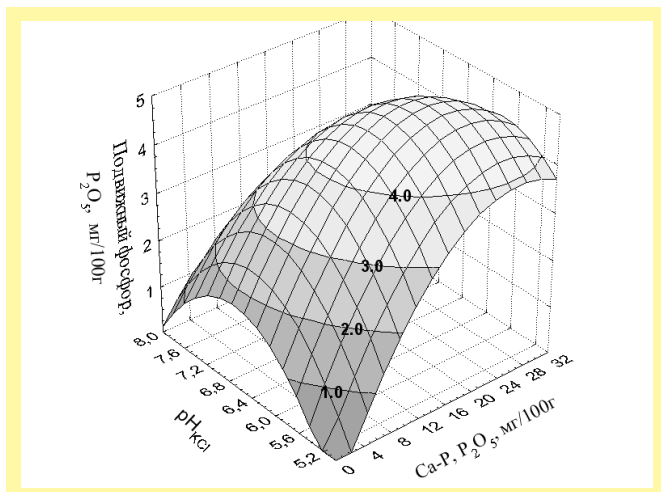
Установлены регионы и типы почв Украины, где применение конкретных химических методов определения подвижных форм азота, фосфора и калия наиболее целесообразно. При этом учитывается возможное влияние химического состава и физических свойств почв на искажение результатов химического анализа. Для отдельных 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



**Рис. 1.** Зависимость определения содержания подвижного фосфора в почвах по Egner-Riehm от величины  $pH_{KCl}$  почвы и содержания апатитов (фракция Ca-P)

или калий, содержащийся в этих минералах, растениям непосредственно не доступен. В то же время, соединения этих элементов частично экстрагируются растворами сильных кислот, в том числе 0.02н HCl (Кирсанов,  $pH$ -1.0) и 0.5 н  $CH_3COOH$  (Чириков,  $pH$ -2.5).

Анализ публикаций показывает, что получение объективной оценки состояния плодородия почв и содержания доступных форм макро- и микроэлементов в почвах является общемировой проблемой.

Недостатки, присущие методам на основе растворов кислот, во многом свойственны всем методам, имеющим значения  $pH$  экстрагента менее 4.5: методы Брея-Куртца 2 ( $pH$ -1.0), Мелиха 1 ( $pH$ -1.2), Аррениуса ( $pH$ -2.0), Мелиха 3 ( $pH$ -2.5), Мелиха 2 ( $pH$ -2.6), Ван Лиеропа (Келауна) —  $pH$ -2.7, Эгнера-Рейма ( $pH$ -3.6), Брея-Куртца 1 ( $pH$ -3.5), Эгнера-Рейма-Доминго ( $pH$ -4.2) и др.

Так, например, нами установлено, что определение фосфора по методу Эгнера-Рейма в почвах с сильнокислой или щелочной реакцией ведет к искусственному занижению данных (рис. 1). Увеличение в почве количества апатитов, наоборот, ведет к искусственному завышению результатов. Содержа-

ние апатитов отражает фракция Ca-P, метод Чанга-Джексона.

Тенденция к «снижению» содержания фосфора на почвах с очень высоким содержанием апатитов, распространенных в степях Украины, объясняется их щелочной реакцией.

Нами использован комплекс методов, базирующийся на разных принципах: химические методы, метод ионообменных смол, биологические методы (опыты с растениями).

Кроме того, проводился статистический анализ материалов автоматизированного информационного банка данных, который содержит результаты анализов свыше 1500 образцов почв.

В результате исследований был сделан вывод о целесообразности широкого использования, так называемых «мягких» методов на основе солевых и слабощелочных экстрагентов.

Сравнительная оценка разных методов, проведенная на протяжении тридцати лет, показала преимущество метода на основе раствора гидрокарбоната натрия (Olsen, 1954), ISO 11263:1994 Soil quality – Determination of phosphorus – Spectrometric determination of phosphorus soluble in sodium hydrogen carbonate solution. В дальнейшем данный метод обозначен как метод Олсена.

Было установлено, что гранулометрический состав и другие свойства почв (содержание апатитов, кислая среда), практически не влияют на результат химического анализа, проведенного по методу Олсена. Коэффициент корреляции был менее 0.33.

При этом содержание фосфора по данным метода Олсена всегда находится в границах низких и средних значений обеспеченности. Это объективная оценка, поскольку такое состояние является наиболее вероятным состоянием фосфатных систем неудобренных пахотных почв как термодинамических систем.

Данные, полученные по методу Олсена, на кислых и нейтральных почвах всегда соответствуют оценке плодородия почв, полученной с помощью других «мягких» методов. Адекватность оценки фосфатного состояния подтверждена и биологическими метода-

ми. Это видно на примере данных микрополевого опыта (табл. 2).

Диапазон успешного использования метода Олсена очень широк: от кислых дерново-подзолистых и буроземных почв до черноземов южных и темно-каштановых почв. То есть, метод Олсена универсален, и его можно использовать практически на всех почвах

**Таблица 1.** Содержание подвижного фосфора в почвах по данным кислотного и щелочного методов в зависимости от  $pH$  почвы и содержания апатитов

Почва	Содержание частиц почвы <0.01мм, %	$pH_{KCl}$	Содержание $P_2O_5$ , мг/кг		
			Чанг-Джексон, фракция Ca-P	Чириков $pH$ -2.5	Олсен, $pH$ -8.5
Дерново-подзолистая	9	4.5	34	34.0	19.6
Дерново-подзолистая	18	4.9	75	35.0	19.8
Бурозем оподзоленный	32	3.8	45	1.9	20.7
Темно-серая оподзоленная	48	3.8	104	2.1	20.9
Чернозем оподзоленный	32	5.4	118	10.0	19.8
Чернозем типичный	56	6.8	201	79.9	19.5
Чернозем типичный	54	6.7	244	80.0	20.0
Чернозем обыкновенный	48	6.0	273	132.0	25.2
Чернозем обыкновенный	55	6.4	297	161.0	25.6
Чернозем типичный	60	6.9	326	170.1	24.5
Черноземно-луговая	27	6.6	806	345.1	30.3

**Таблица 2.** Оценка обеспеченности почв фосфором по данным химических и биологического методов

Почва	Вариант опыта	Содержание $P_2O_5$ , мг/кг			Содержание $P_2O_5$ в фитомассе овса, %
		Ионообменная хроматография	Олсен	Карпинский-Замятина (ДСТУ 4729)	
Чернозем типичный	Контроль	20.0	19.1	0.31	0.52±0.09
	$P_{1200}^*$	58.9	52.9	1.75	0.70±0.09
Чернозем типичный	Контроль	31.0	24.0	0.44	0.58±0.11
	$N_{400}P_{400}K_{480}^{**}$	119.1	124.9	5.84	0.81±0.11

\* разовое внесение  
\*\*за каждую ротацию севооборота

Украины.

Это важная информация, поскольку сфера использования метода Чирикова в Украине существенно сокращена. Согласно ДСТУ 4115 данный метод можно использовать только для диагностики почв оподзоленного ряда.

Национальный стандарт Украины ДСТУ ISO 11263-2001 является идентичным международному стандарту ISO 11263. Один из авторов статьи участвовал в разработке данного гармонизированного нормативного документа, поэтому считает своим долгом отметить и недостатки метода Олсена.

Во-первых, существует необходимость в обезцвечивании вытяжки. Стандартом предусмотрено использование активированного угля. В последних модификациях метода для этого в состав экстрагента включают ЭДТА и флокулянт Superfloc 127.

Во-вторых, анализ материалов банка данных выявил наличие парадокса. Метод предназначен, прежде всего, для анализа щелочных почв. Вместе с тем оказалось, что его использование для анализа этих почв может вести к искусственному занижению оценки их обеспеченности фосфором. Причем, чем выше щелочность почвы, тем ниже получаемый результат (рис. 2). Иногда создается впечатление “исчезновения” доступного для растений фосфора. По этой причине сложилось мнение, что щелочные почвы плохо обеспечены доступным для растений фосфором.

Параллельное использование солевых методов (Карпинский-Замятина, 0.03н  $K_2SO_4$ , pH-5.8; Скофилд) показывает, что реального снижения содержа-

ния доступного для растений фосфора в щелочных почвах не происходит. То есть, “исчезновение” фосфора является иллюзией, вызванной недостатком метода. Проблема в том, что щелочной экстрагент в щелочной среде теряет экстрагирующую силу, что и приводит к искусственному занижению получаемых данных.

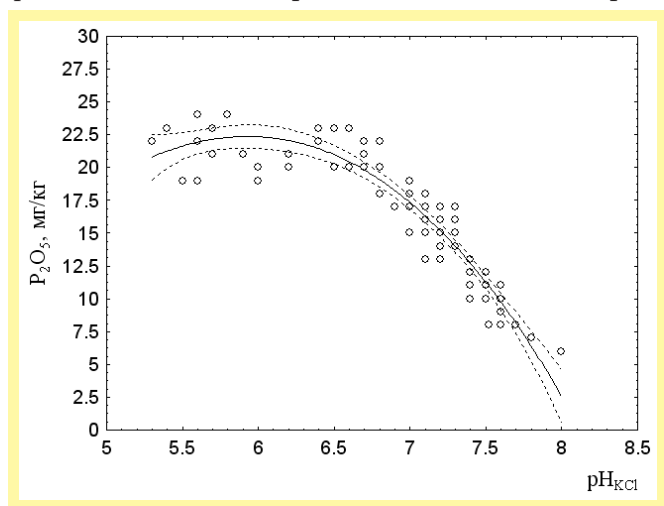
Максимальное искусственное занижение составляет около 18 мг  $P_2O_5$ /кг. Много это или мало, видно из экспертного расчета. Для повышения содержания фосфора на эту величину необходимо внести на тяжелых почвах не менее 600 кг  $P_2O_5$ /га. При условии, что это разовая (единовременная) доза внесения, а анализ почвы проведен не позже одного года после внесения.

Высокие требования нормативных документов (ISO 11263:1994 и ДСТУ ISO 11263-2001) к точности проведения анализа и получения точных данных обесцениваются отсутствием официальных группировок обеспеченности почв доступным для растений фосфором. Без корректно разработанной группировки почв невозможно объективно оценить их фосфатное состояние.

Имеющаяся в литературе информация существенно различается между собой (табл. 3).

Кроме того, исследования, проведенные в ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского» показали, что оценка плодородия почв по методу Олсена при использовании обеих систем оценки обеспеченности фосфором, как правило, не совсем совпадает с оценкой, полученной по данным других щелочных и солевых методов.

Нами усовершенствованы группировки обеспеченности почв фосфором по методу Олсена. Теперь оценка обеспеченности почв фосфором по данному методу полностью совпадает с оценкой других “мягких” химических методов (Мачигин, pH 9.0; Чанг-

**Рис. 2.** Зависимость определения содержания подвижного фосфора по Олсену от величины  $pH_{KCl}$  почвы**Таблица 3.** Группировки обеспеченности почв подвижным фосфором по методу Олсена,  $P_2O_5$ , мг/кг

Группа обеспеченности фосфором	Источник		Предлагаемая группа
	Янишеский, 1996	Агрохимические методы исследования почв, 1975	
Низкая	< 11	< 25	< 18
Средняя	11-23	25-50	19-34
Повышенная	23-41	50-90	35-50
Высокая	> 41	> 90	51-66
Очень высокая	-	-	> 67

Джексон, фракция Al-P - рН 8.5; Карпинский-Замятина, рН 5.8).

Кроме того, добавлена группа «очень высокая» обеспеченность фосфором. Это позволит более рационально использовать имеющиеся ресурсы. Оптимальное содержание доступного для растений фосфора для получения высоких стабильных урожаев лежит в границах группы «высокой» обеспеченности. Повышение содержания подвижного фосфора в почвах сверх оптимального уровня ведет к резкому снижению отзывчивости растений на внесение фосфорных удобрений.

Разработаны математические модели и соответствующая компьютерная программа, позволяющие установить реальную обеспеченность щелочных почв подвижным фосфором в зависимости от значений  $pH_{KCl}$  или  $pH_{H_2O}$ . Получен патент на полезную модель (Патент, 2009).

Использование данных математических моделей или программы, а также усовершенствованной шкалы обеспеченности почв фосфором, позволяет оптимизировать системы удобрений и, соответственно, затраты на гектар удобренной площади. Например, установив, что фосфатный уровень почвы соответствует не 5 мг  $P_2O_5$ /кг (низкая обеспеченность фосфором), а 25 мг  $P_2O_5$ /кг почвы (средняя обеспеченность фосфором), фермер, на основе имеющихся рекомендаций, может существенно снизить дозу вносимого удобрения, не опасаясь снижения урожая культур.

Внесение высоких доз фосфорных удобрений на почвах, имеющих высокую щелочность, так же нецелесообразно по следующей причине: высокая щелочность ( $pH_{KCl}$  - 8.0 или  $pH_{H_2O}$  - 8.5 и более) часто вызывается не только наличием карбонатов кальция, но и дополнительным присутствием соды. Последнее соединение довольно токсично и может негативно влиять на рост и развитие многих сельскохозяйственных культур, что резко снижает эффективность применяемых удобрений.

## Фосфор: механизмы потерь из почвы и способы их снижения

Иванова С.Е., Логинова И.В., Тиндалл Т.

В современном растениеводстве управленческие усилия больше не ограничиваются стремлением к достижению высоких урожаев или улучшению качества получаемой сельскохозяйственной продукции. Они направлены также на предупреждение возможного негативного воздействия на окружающую среду и повышение рентабельности сельскохозяйственного производства.

По оценкам экспертов, 30–40% производственных затрат в растениеводстве связано с покупкой и применением промышленных удобрений, имеющих ключевое значение для обеспечения продовольствием всего человечества, численность которого продолжает расти, и по прогнозу FAO к 2050 году до-

стигнет 9.2 миллиардов человек. Для обеспечения возрастающего населения пищей, производство продовольствия в мире должно как минимум удвоиться (FAO, 2009). Возможности для увеличения площадей пахотных земель сильно ограничены. И в такой ситуации удобрения выступают ключевым элементом в технологии выращивания культур, обеспечивая необходимое повышение продуктивности при сохранении площади пахотных земель на том же уровне. Многие участники мирового рынка продовольствия также признают наличие прямой зависимости между глобальной продовольственной безопасностью и доступностью минеральных удобрений.

Христенко А.А. - кандидат. с.-х. наук ведущий научный сотрудник отдела агрохимии, Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского». Харьков, Украина; e-mail: khristenko.an@mail.ru

Иванова С.Е.- кандидат биологических наук, вице-президент Международного Института Питания Растений по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку. e-mail: sivanova@ipni.net

## Литература

- Христенко А.А. Подвижность «подвижных» элементов питания растений в почвах // Вестник аграрной науки. - 2009 г. - № 8. - С.16-20.
- Olsen, R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (1954), U.S. Dept of Agric. Cir.939.
- Янишевский П.Ф. Химическая оценка фосфатного состояния почв // Агрохимия. - 1996. - № 4. - С.95-116.
- Методы определения фосфора в почве // Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. 5-е изд. доп. и перераб. - М.: Наука, 1975. - С.106-190.
- ПАТЕНТ на полезную модель № 41725 Украина, МПК (2009) G01N 33/24 Способ корректировки точности оценки фосфатного состояния почв по методу Олсен (на основе гидрокарбоната натрия) / Христенко А.А., Бюл. №11. - 6 с.