

УДК 631.416.2:631.41

UDC 631.416.2:631.41

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ  
ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА В ЧЕРНОЗЕМЕ  
ОБЫКНОВЕННОМ КАРБОНАТНОМ**

**COMPARISON OF SOIL TEST METHODS FOR  
AVAILABLE PHOSPHORUS IN COMMON  
CALCAREOUS BLACK SOIL**

Бирюкова Ольга Александровна  
д. с. – х. наук, профессор  
[olga\\_alexan@mail.ru](mailto:olga_alexan@mail.ru)

Biryukova Olga Alexandrovna  
Dr.Sci.Agr., professor  
[olga\\_alexan@mail.ru](mailto:olga_alexan@mail.ru)

Божков Дмитрий Васильевич  
ассистент  
*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

Bozhkov Dmitry Vasilyevich  
assistant  
*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

Носов Владимир Владимирович  
к. б. н., Региональный директор по Югу и Востоку  
России  
*Международный институт питания растений,  
Москва, Россия*

Nosov Vladimir Vladimirovich  
Cand.Biol.Sci., Regional Director of the Department of  
Southern and Eastern Russia  
*International Plant Nutrition Institute, Moscow, Russia*

В статье представлен сравнительный анализ результатов определения содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном по методам Мачигина и Олсена. Выявлены зависимости продуктивности кукурузы и накопления фосфора в ее надземных частях от содержания подвижного фосфора в почве в разные фазы развития культуры

The article presents a comparative analysis of the results on available phosphorus measurements in common black soils using the Machigin and Olsen methods. The relationships between maize productivity and soil available phosphorus and also between phosphorus concentrations in the above-ground plant parts and soil available phosphorus were identified at various stages of crop development

Ключевые слова: ПОДВИЖНЫЙ ФОСФОР, МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ЧЕРНОЗЕМ ОБЫКНОВЕННЫЙ КАРБОНАТНЫЙ, УДОБРЕНИЕ, КУКУРУЗА

Keywords: AVAILABLE PHOSPHORUS, ANALYTICAL METHODS, COMMON CALCAREOUS CHERNOZEM, FERTILIZERS, CORN

Фосфор является одним из важнейших элементов, определяющим урожайность сельскохозяйственных культур. При этом уровень урожайности зависит от содержания в почве подвижных соединений фосфора, для извлечения которых применяют различные экстрагенты. Их многообразие ставит вопрос о необходимости строгого согласования задач исследования с реальными возможностями методов анализа.

В сотрудничестве с Международным институтом питания растений были проведены полевые опыты согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур на территории госсортоучастка «Целинский» Ростовской области в 2011 - 2013 гг. По

современной классификации [2] почва опытного участка относится к подтипу черноземов миграционно-сегрегационных.

Изучали типичную для данного региона агротехнологию хозяйств (ТАХ) и «экологическую интенсификацию» (ЭИ) с применением азотных удобрений и с минимально возможным их внесением. В качестве минеральных удобрений использовали аммиачную селитру (34% N), аммофос (12% N, 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), калий хлористый (60% K<sub>2</sub>O) и цинк сернокислый (25% Zn) согласно следующей схеме: N<sub>30</sub>P<sub>40</sub> до посева (ТАХ-N); N<sub>9</sub>P<sub>40</sub> до посева (ТАХ-N0); N<sub>85</sub>P<sub>70</sub>K<sub>40</sub> + Zn (обработка семян): N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>K<sub>20</sub> до посева, N<sub>5</sub>P<sub>20</sub>K<sub>20</sub> при посеве, N<sub>30</sub> в подкормку (ЭИ-N); N<sub>17</sub>P<sub>70</sub>K<sub>40</sub> + Zn (обработка семян): N<sub>12</sub>P<sub>50</sub>K<sub>20</sub> до посева, N<sub>5</sub>P<sub>20</sub>K<sub>20</sub> при посеве (ЭИ-N0).

Возделывали среднеспелый гибрид кукурузы Фурио. Повторность опыта – 4-х кратная. Общая площадь делянки – 67,2 м<sup>2</sup>, учетная – 42 м<sup>2</sup>. Отбор образцов по фазам развития культуры выполняли в соответствии с ГОСТ 28168. Содержание подвижных форм фосфора в почве определяли по методам Мачигина и Олсена [4]. Определение содержания P в зерне и надземной массе растений проводили по ГОСТ 26657-97. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 6.0.

Для карбонатных почв многие авторы рекомендуют использовать щелочные растворители, такие как NaHCO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, и др. При использовании указанных экстрагентов снижается активность ионов кальция в растворе из-за образования карбоната кальция, что способствует переходу в раствор фосфатов, связанного с кальцием. Эти растворители способны также извлекать фосфаты, связанные с алюминием и железом, вследствие образования алюминатов и гидратов оксидов железа [1].

Оба метода определения содержания подвижного фосфора имеют практически равную трудоемкость, высокую точность и степень воспроизводимости результатов (табл. 1).

Таблица 1 – Некоторые характеристики методов определения содержания подвижного фосфора

Характеристика	Метод Мачигина (ГОСТ 26205-91)	Метод Олсена (ISO 11263-1994)
Используемый экстрагент	1 %-ый раствор $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	0,5 М раствор $\text{NaHCO}_3$
Соотношение почва : раствор	1 : 20	1 : 20
Время взаимодействия	18-20 часов	30 мин.
рН растворителя	9,0	8,5
Расход реактива для приготовления 1 л экстрагента	10 г	42 г
Классы обеспеченности для зерновых культур, мг $\text{P}_2\text{O}_5/100$ г [1]	Очень низкая: < 1	Низкая: < 2,5
	Низкая: < 1,5	Средняя: 2,5 – 5,0
	Средняя: 1,5-3,0	Хорошая: 5,0 – 9,0
	Высокая: > 3,0	Высокая: > 9,0

Более длительным является метод Мачигина, так как требует настаивания в течение 18-20 часов, но на приготовление экстрагирующего раствора в данном методе затрачивается в 4 раза меньше реактивов.

Первичный анализ данных показал, что для метода Мачигина значения с равной вероятностью отклонены от среднего, то есть распределены «нормально». Аналогичная закономерность распределения переменных выявлена и для метода Олсена.

Низкие значения относительной ошибки (менее 5%) как по методу Мачигина, так и по методу Олсена свидетельствуют о достаточной точности проведенных исследований (табл. 2). Незначительное варьирование содержания подвижного фосфора в почве до закладки опыта в 2011 году свидетельствует об относительной выравненности уровня плодородия опытного участка и соответствует требованиям методики полевого опыта. Применение различных доз удобрений и вынос фосфора возделываемой культурой привели к увеличению изменчивости

изучаемого показателя до 8 – 16% по методу Мачигина и до 10 – 12% – по методу Олсена в разные годы исследований. Максимальные значения коэффициента вариации отмечены в фазу 6-7 листьев в 2012 г. в вариантах с «экологической интенсификацией», где использовались более высокие дозы минеральных удобрений.

Таблица 2 –Результаты статистической обработки содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном по методам Мачигина и Олсена

Показатель	Объем выборки	Среднее	Минимум	Максимум	Размах	Дисперсия	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка среднего	Коэффициент вариации	Точность опыта
2011										
Метод Мачигина	20	21,9	18,8	25,0	6,3	3,2	1,8	0,4	8,2	1,8
Метод Олсена	20	45,1	36,0	51,3	15,3	26,2	5,1	1,1	11,4	2,5
2012										
Метод Мачигина	64	22,6	16,3	30,8	14,5	13,7	3,7	0,5	16,4	2,0
Метод Олсена	64	47,3	38,8	59,1	20,3	28,3	5,3	0,7	11,3	1,4
2013										
Метод Мачигина	64	23,9	19,9	28,9	9,0	4,4	2,1	0,3	8,7	1,1
Метод Олсена	64	48,5	41,1	61,3	20,2	25,9	5,1	0,6	10,5	1,3

Процедура установления достоверной статистической разницы между средними значениями выборок по Мачигину и Олсену с использованием t- критерия Стьюдента показала, что между средними значениями содержания фосфора в почве по двум методам существуют достоверные различия, то есть выборки разнородны и представляют разные генеральные совокупности, как с вероятностью 0,95, так и 0,99. Визуализация разнородности выборок представлена на рисунке 1.

При сравнении результатов анализа образцов почвы, полученных по двум методам, отмечена средняя сходимость их значений,  $r = 0,6$  (рис. 2). Среднее значение коэффициента корреляции между двумя методами

говорит о прямой линейной связи, однако для оценки согласованности измерений этого недостаточно.

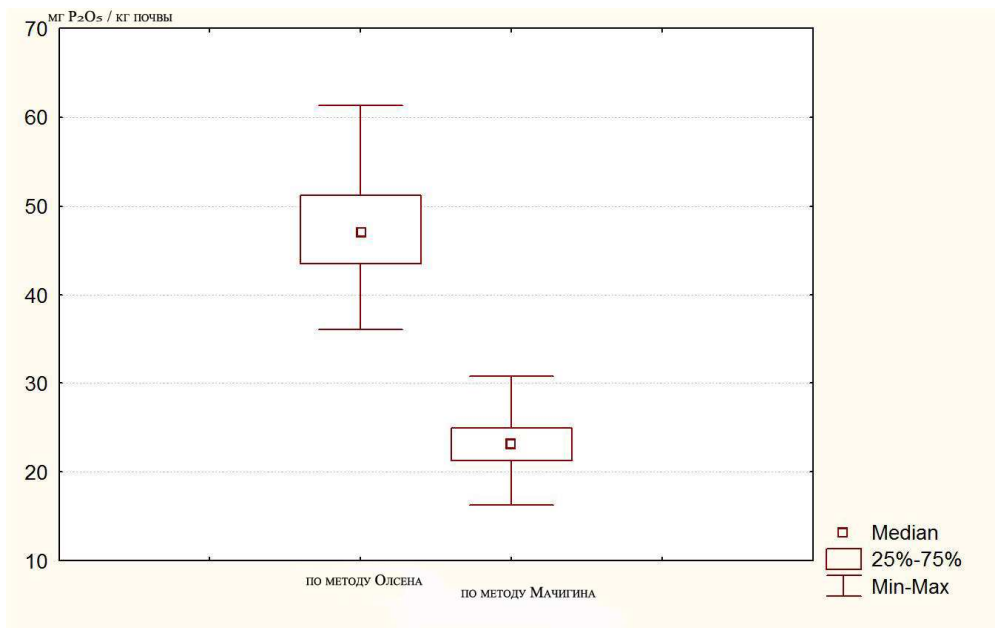


Рис. 1. Графическое представление описательных статистик для содержания подвижного фосфора в почве по методам Мачигина и Олсена за три года исследований

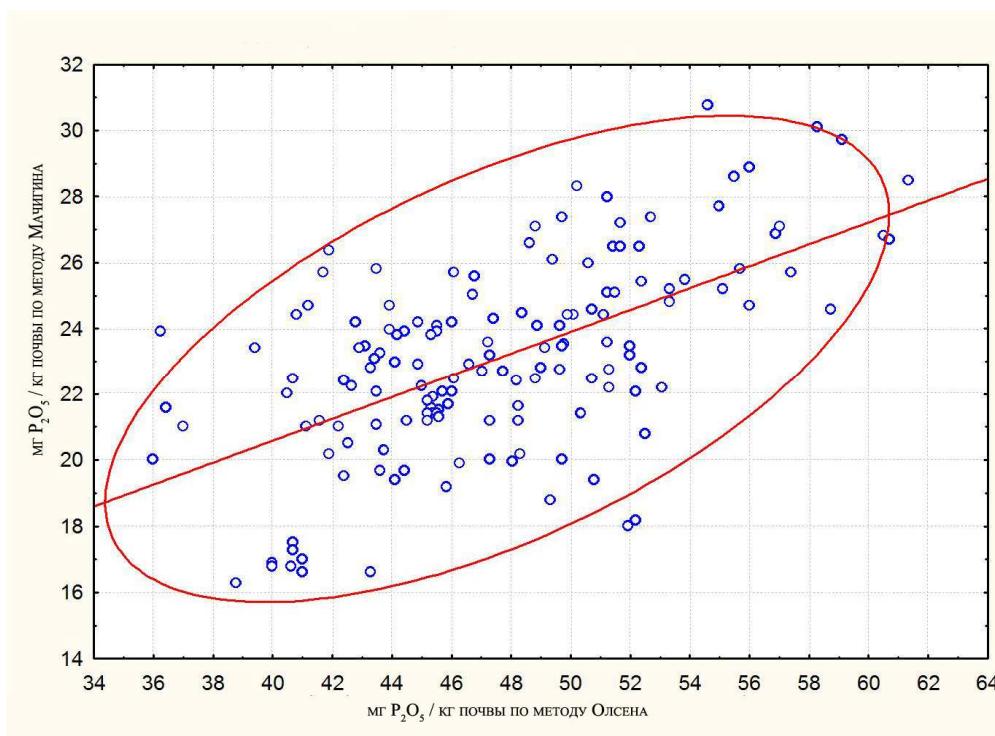


Рис. 2. Зависимость между результатами определения подвижного фосфора по методам Мачигина и Олсена

Для этих целей D.G. Altman и J.M. Bland [7] предложили использовать описательный метод, который заключается в расчете разности между двумя измерениями, средней величины и стандартного отклонения разности. Применение данного метода к полученным результатам говорит о систематическом расхождении результатов, о чем свидетельствует высокое значение средней разности между двумя методами равное 24,45. Кроме того, достаточно высокое значение стандартного отклонения разности (4,26) и прямая средняя зависимость величины содержания  $P_2O_5$  от разности измерений свидетельствуют о несогласованности измерений, полученных разными методами. Графическое изображение зависимости среднего значения по двум методам анализа от разности между ними представлено на рисунке 3.

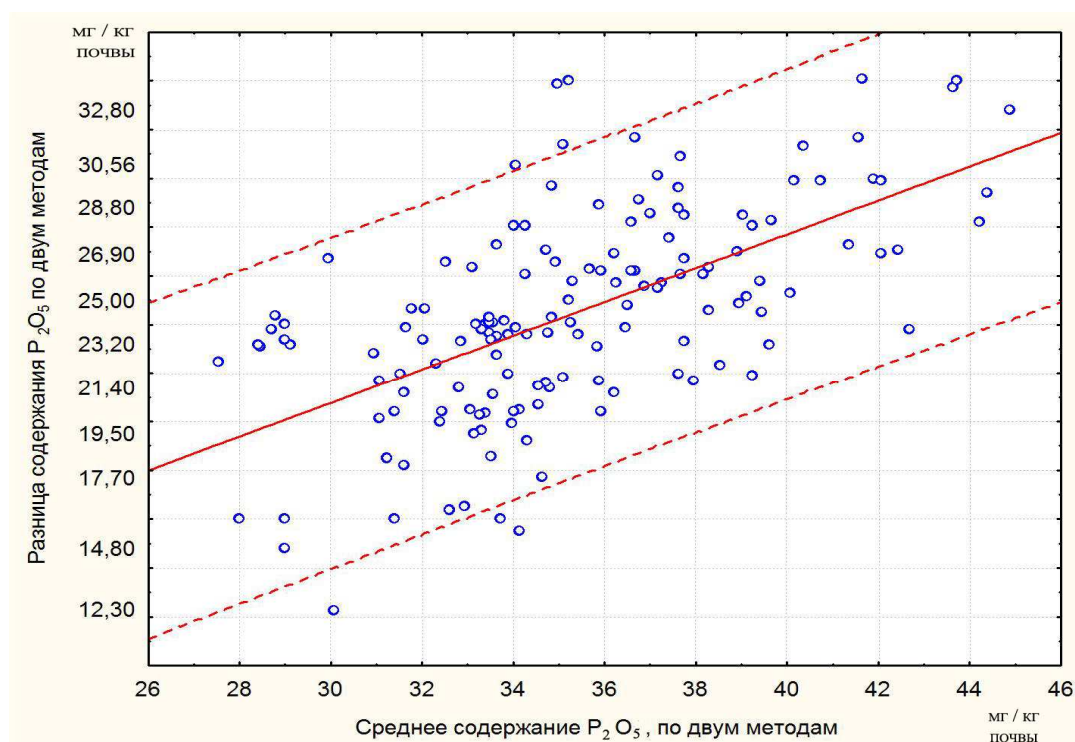


Рис. 3. Результаты применения описательного способа оценки согласованности измерений по методам Мачигина и Олсена

Из рисунка 3 видно, что с увеличением среднего содержания подвижного фосфора в почве увеличивается разность между двумя

методами, то есть при низких концентрациях фосфора в почве оба метода дают близкие значения, а при более высоких – расхождения возрастают.

Изучение динамики содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном карбонатном позволило выявить значительные колебания концентрации этого элемента по годам и фазам развития растений. В среднем за годы исследований наибольшее содержание подвижных соединений фосфора, определяемых как по методу Мачигина, так и по методу Олсена, наблюдалось в первой половине вегетации кукурузы, поскольку в этот период поглощение фосфора растениями протекает менее интенсивно.

Результаты исследований показали, что применение минеральных удобрений способствовало повышению содержания подвижного фосфора в почве. При этом количество доступного для растений фосфора в почве зависело не только от дозы применяемых удобрений, но и от фазы роста и развития растений кукурузы.

Чернозем обыкновенный карбонатный полевого опыта характеризуется средней обеспеченностью подвижным фосфором, как по Мачигину, так и по Олсену. Максимальные величины были получены в вариантах с «экологической интенсификацией» с применением азотных удобрений ( $N_{85}P_{70}K_{40}$ ). В зависимости от года исследований они варьировали от 27 до 30 мг/кг почвы по методу Мачигина, и от 51 до 57 мг/кг почвы - по методу Олсена. По мере роста и развития растений содержание изучаемого элемента в почве уменьшалось, и в период созревания были получены минимальные показатели практически во всех вариантах, что обусловлено расходом фосфора на формирование биомассы растений.

Внесение в почву возрастающих доз фосфорсодержащих удобрений существенно повышает содержание подвижных фосфатов, то есть способствует увеличению обеспеченности почвы доступными формами

фосфора. При внесении 40 кг  $P_2O_5$ /га содержание подвижного фосфора в почве существенно увеличивалось, и в фазу 3-4-х листьев в среднем за 2 года для метода Мачигина оно составило 3,3 мг/кг в варианте с применением азотных удобрений и 2,3 мг/кг – без них ( $N_9P_{40}$ ), а для метода Олсена – 7,6 и 6,0 мг/кг соответственно. При увеличении дозы фосфора до 70 кг/га вышеуказанные показатели соответственно составили 8,4 и 8,2 мг/кг на азотно-калийном фоне, и 16,1 и 14,1 мг/кг – при внесении  $N_{17}P_{70}K_{40}$ . В последующие фазы развития кукурузы различия снижались, и к моменту созревания культуры в зависимости от года исследований дополнительное внесение 30 кг/га фосфора с аммофосом увеличивало содержание подвижного фосфора на 0,3 – 3,3 мг/кг почвы по методу Мачигина, и на 1,4 – 7,1 мг/кг почвы – по методу Олсена. Это связано с использованием элементов питания на формирование биомассы культуры и высокой буферностью почвы в отношении фосфора. А.В. Лабынцев и И.М. Шапошникова [3, 6] также утверждают, что метод Мачигина, принятый как стандарт для определения содержания подвижного фосфора в карбонатных почвах, достаточно четко отражает изменения в зависимости от доз удобрений. При этом авторы отмечают, что процесс извлечения фосфора из почвы не ограничивается однократной вытяжкой и продолжается при десятикратной обработке. Отношение количества  $P_2O_5$  в сумме за 10 обработок к содержанию в однократной вытяжке составляет 3,1-3,5 на естественном фоне и несколько меньше – при внесении удобрений (2,9-3,0), что указывает на высокую буферную способность почвы по отношению к фосфору.

В целом, урожайность кукурузы в 2013 г. была ниже по сравнению с результатами, полученными в 2011-2012 гг. (рис. 4). Определяющим фактором, лимитирующим рост и развитие культур в 2013 году, в первую очередь, стали агрометеорологические условия. Острая продолжительная



засуха в 2013 году в критические периоды развития растений кукурузы не позволила сформировать высокий урожай зерна.

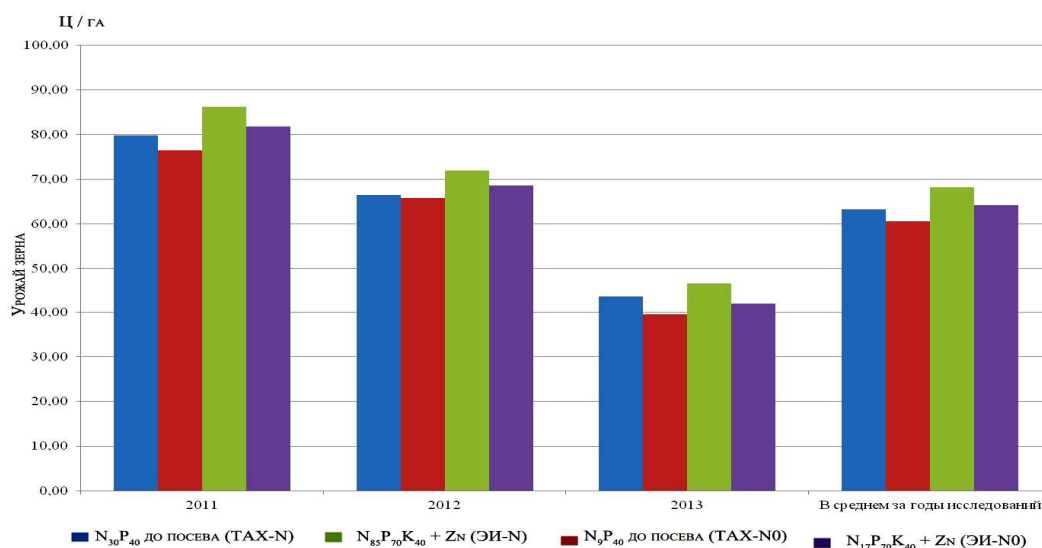


Рис. 4. Урожайность кукурузы по годам исследований при стандартной влажности (14 %)

Согласно полученным результатам, накопление фосфора в зерне кукурузы зависело от содержания подвижного фосфора в почве в фазу 3-4-х листьев, причем данная закономерность характерна для всех надземных частей растений, включая стержни початков и листостебельную массу.

В работе И.Н. Чумаченко и В.А. Прошкина [5] указано, что статистические характеристики связи между содержанием фосфора в почве и продуктивностью 1 га пашни (степень тесноты, степень сопряженности, а в ряде случаев и характер связи) заметно различаются при использовании различных методов определения содержания почвенных фосфатов.

При средней обеспеченности почв подвижным фосфором за годы исследований как по Мачигину, так и по Олсену, в опыте выявлена отзывчивость растений на внесение фосфорных удобрений. С помощью корреляционного анализа установлено, что на величину урожайности зерна кукурузы оказывало влияние содержание подвижного фосфора в

фазу 3-4-х листьев по двум методам, а в более благоприятном 2012 году данное влияние выявлено и в фазу 6-7-ми листьев для метода Мачигина.

Математическая модель зависимости урожая зерна кукурузы от содержания подвижного фосфора в почве по Мачигину в ранние фазы развития культуры (3-4 листа) представлена на рисунке 5.

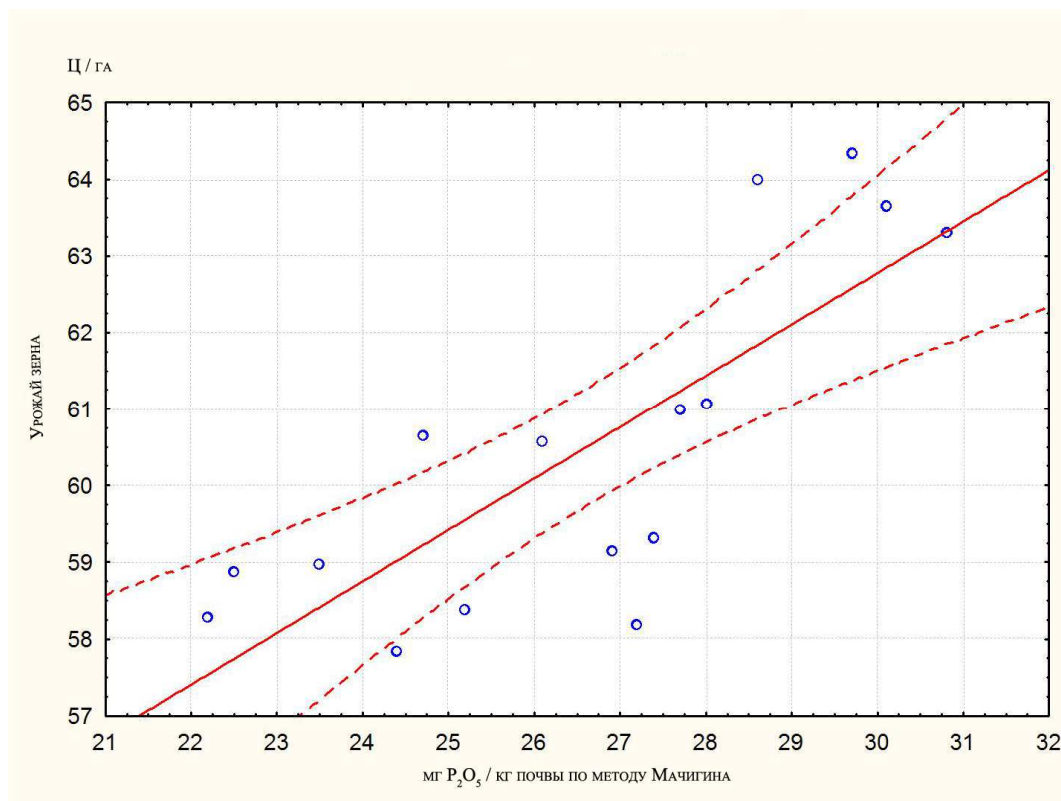


Рис. 5. Зависимость урожайности кукурузы от содержания подвижного фосфора в почве по методу Мачигина в 2012 г.

Достоверность модели достаточно высокая — коэффициент детерминации соответствия прогнозируемых данных расчетным равен 0,64. Следовательно, прогнозируемые значения урожайности зерна кукурузы практически совпадают с фактическими ( $r = 0,8$ ), то есть на основе математической модели можно заранее планировать урожай и проводить его корректировку за счет внесения минеральных удобрений.

Подобные модели прогнозирования урожайности кукурузы в зависимости от содержания подвижного фосфора по методу Олсена представлены в исследованиях А.Р. Mallarino и А.М. Blackmer [8], где

определены критические значения содержания фосфора в почве с использованием регрессионных методов.

Таким образом, количественное содержание подвижного фосфора в черноземе обыкновенном зависит от метода извлечения. При использовании метода Мачигина (1% -ный раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ) получены более низкие значения, чем по методу Олсена (0,5 М раствор  $\text{NaHCO}_3$ ). Однако степень обеспеченности почвы подвижным фосфором одинакова и характеризуется как средняя.

Установлено систематическое расхождение результатов для двух методов определения содержания подвижного фосфора в черноземе обыкновенном карбонатном, как с вероятностью 0,95, так и 0,99. При этом при низких концентрациях фосфора в почве оба метода дают близкие значения, а при более высоких – расхождения возрастают.

В среднем за годы исследований наибольшее содержание подвижных соединений фосфора как по методу Мачигина, так и по методу Олсена наблюдалось в первой половине вегетации кукурузы, поскольку в этот период растения потребляют фосфор менее интенсивно.

Исследуемые методы определения содержания подвижного фосфора в течение всего периода вегетации кукурузы достаточно четко отражают изменения, происходящие при внесении возрастающих доз фосфорных удобрений. При этом максимальное влияние выявлено в фазу 3-4-х листьев. Установлена достоверная зависимость урожайности зерна кукурузы от содержания подвижного фосфора в фазу 3-4-х листьев как по Мачигину ( $r = 0,79$ ), так и по Олсену ( $r = 0,66$ ), а в более благоприятном 2012 году – и в фазу 6-7 листьев по Мачигину ( $r = 0,66$ ).

Работа выполнена при поддержке проектной части госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации № 5.885.2014/К, Ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2449.2014.4).

### Литература

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Классификация и диагностика почв России. М., 2004. 342 с.
3. Лабынцев А.В., Шапошникова И.М. Влияние длительного применения удобрений на фосфорный режим обыкновенного мителлярно-карбонатного чернозема // Совершенствование методологии исследования фосфорного режима почв, оптимизация фосфорного питания растений и баланс фосфора в агроэкосистемах: Материалы симпозиума ВНИПТИХИМ. М.: Немчиновка, 1999. С. 64-73.
4. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: МГУ, 2001. 689 с.
5. Чумаченко И.Н., Прошкин В.А. Оценка методов определения подвижных фосфатов на дерново-среднеподзолистой почве при длительном применении удобрений // Совершенствование методологии исследований фосфатного режима почв, оптимизация фосфорного питания растений и баланс фосфора в агроэкосистемах: Материалы симпозиума ВНИПТИХИМ. М.: Немчиновка, 1999. С. 5-9.
6. Шапошникова И.М., Лабынцев А.В. Фосфатный режим чернозема обыкновенного Ростовской области и эффективность фосфорных удобрений // Агрохимия. 1998. № 9. С. 53-58.
7. Altman D.G., Bland J.M. Measurement in Medicine the Analysis of Method Comparison Studies // The statisticians. 1983. Vol. 32. P. 307-317.
8. Mallarino A.P. and Blackmer A.M. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn // Agronomy Journal. 1992. Vol. 84. P. 849-856.

### References

1. Agrokhimicheskiye metody issledovaniya pochv. M.: Nauka, 1975. 656 s.
2. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii. M., 2004. 342 s.
3. Labyntsev A.V., Shaposhnikova I.M. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya udobreniy na fosfornyy rezhim obyknovennogo mitselyarno-karbonatnogo chernozema // Sovershenstvovaniye metodologii issledovaniya fosfornogo rezhima pochv, optimizatsiya fosfornogo pitaniya rasteniy i balans fosfora a agroekosistemakh: Materialy simpoziuma VNIPTIKhIM. M.: Nemchinovka, 1999. S. 64-73.
4. Mineyev V.G. Praktikum po agrokhimii. M.: MGU, 2001. 689 s.
5. Chumachenko I.N., Proshkin V.A. Otsenka metodov opredeleniya podvizhnykh fosfatov na dernovo-srednepodzolistoy pochve pri dlitel'nom primeneniye udobreniy // Sovershenstvovaniye metodologii issledovaniy fosfatnogo rezhima pochv, optimizatsiya fosfornogo pitaniya rasteniy i balans fosfora v agroekosistemakh: Materialy simpoziuma VNIPTIKhIM. M.: Nemchinovka, 1999. S. 5-9.
6. Shaposhnikova I.M., Labyntsev A.V. Fosfatnyy rezhim chernozema obyknovennogo Rostovskoy oblasti i effektivnost fosfornykh udobreniy // Agrokhimiya. 1998. № 9. S. 53-58.
7. Altman D.G., Bland J.M. Measurement in Medicine the Analysis of Method Comparison Studies // The statisticians. 1983. Vol. 32. P. 307-317.
8. Mallarino A.P. and Blackmer A.M. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn // Agronomy Journal. 1992. Vol. 84. P. 849-856.