

## АГРОНОМИЯ

УДК631.811.2

DOI:10.31677/2072-6724-2019-52-3-7-16

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ОЦЕНКА МЕТОДОВ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОСФАТОВ В ПОЧВАХ  
НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**С.С. Аверкина**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник

Сибирский НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН,  
Новосибирск, Россия  
E-mail: averkina36@mail.ru

**Ключевые слова:** подвижный фосфор, методы, шкалы, фосфорные удобрения, диагностика, чернозем, плодородие, стандарт

*Реферат. Обобщены результаты многолетних исследований пригодности существующих методов определения подвижных фосфатов для оценки эффективности фосфорных удобрений. Стандартные методы определения фосфора по Труогу и Чирикову извлекают из почвы большое количество труднодоступных форм, а существующие шкалы для определения потребности почв в этом элементе для зерновых культур не позволяют объективно оценить плодородие черноземов Новосибирской области. Обсуждается использование буферных смесей, кислотных и солевых экстрагентов для диагностики фосфорного питания растений. На почвах черноземного типа проведение периодической диагностики предлагается осуществлять методом Николова и ЛАК-методом. Они характеризуют фактические запасы доступного фосфора в почве. В течение вегетационного периода необходимо проведение оперативной диагностики с помощью метода Карпинского – Замятиной. Метод определяет степень перехода фосфора в почвенный раствор и наличие остаточных фосфатов. Количество энергии, необходимое для извлечения фосфора из почвенных соединений, предлагается определять методом Скофилда. Величина его зависит от поглощательных свойств почвы и носит региональный характер. Для всех изучаемых методов предложены новые шкалы обеспеченности черноземов Новосибирской области, которые позволяют в каждом случае решать вопрос о целесообразности внесения фосфорных удобрений и дать правильную оценку при изучении диагностики фосфорного питания растений.*

**REGIONAL FEATURES AND EVALUATION OF THE METHODS AIMED AT LABILE  
PHOSPHATES DETERMINATION IN THE SOIL OF NOVOSIBIRSK REGION**

**Averkina S. S.**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Fellow

Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicalization, Novosibirsk, Russia

*Key words:* labile phosphorus, methods, scales, phosphate fertilizers, diagnostics, black soil, fertility, standard.

*Abstract. The paper summarizes the results of many-year research on applying the existing methods for determining labile phosphates aimed at evaluation of the phosphorus fertilizers effect. The standard methods of phosphorus determination according to Truog and Chirikov suggests extracting a large amount of hard-to-reach forms from the soil. The existing scales for determining the soil needs inside this element for crops do not allow to evaluate objectively the fertility of black soil in the Novosibirsk Region. The application of buffer mixtures, acid and salt extractants for the diagnosis of phosphorus nutrition of plants is discussed. The authors suggest to explore black soil according to the Nikolov method and the LAC- method. They characterize the actual reserves of available phosphorus in the soil. During the growing season, it is necessary to carry out operational diagnostics using Karpinsky–Zamyatina method. The method determines the degree of transition of phosphorus to the soil fluid and the presence of residual phosphates. The amount of energy required to extract phosphorus from soil compounds is suggested to be determined by the Scofield method. Its value depends on the absorption properties of the soil and is regional in nature. For all the methods studied the new scales for the supply of black soil in the Novosibirsk Region were proposed. These scales give opportunity to find out the appropriateness of applying phosphorus fertilizers and give a correct assessment during the study of the diagnosis of phosphorus nutrition of plants.*

Доступность растениям фосфора в почве зависит от физико-химических процессов мобилизации и иммобилизации этого элемента. Поэтому при использовании химического метода определения подвижного фосфора необходимо определить, насколько его показатель коррелирует с величиной урожайности и отзывчивостью растений на вносимые удобрения [1]. Доминирующими при проведении агрохимического обследования остаются методы с использованием кислотных экстрагентов. Существенным недостатком всех методов определения подвижных фосфатов в почве является вторичное осаждение [2].

При воздействии на почву экстрагента происходят процессы, имеющие противоположные направления, а именно, растворение фосфора различных почвенных соединений и осаждение ионов  $P_2O_5$  катионами и другими компонентами, перешедшими из твердой фазы в почвенный раствор. Распределение растворимых фосфатов между вытяжкой и почвой зависит от экстрагента, свойств почвы и её способности фиксировать фосфаты [2].

Содержание фосфора в почвах, определяемое химическими методами, дает только представление о потенциальных запасах элемента, поскольку методы неадекватно имитируют возможности биологических объектов по потреблению фосфора из почвы.

Ученые справедливо признают возможным объективно и надежно оценивать фосфорное состояние почв и прогнозировать эффект от вносимых удобрений на основе нескольких дополняющих друг друга показателей или на основании подбора такого экстрагента, который бы учитывал наиболее вероятные формы соединений фосфора в почве, непосредственно участвующих в питании растений в данном вегетационном году [1,3].

При разработке методов определения подвижного фосфора на почвах черноземного типа была поставлена цель предложить реактив, равновесный корневой системе растений по способности к его растворению. Задача эта до сих пор не решена. В практике работы сибирских агрохимических и почвенных учреждений в разной степени узаконены для определения потребности почв в фосфорных удобрениях методы Чирикова, Труога, Францесона, Карпинского-Замятиной, Эгнера-Рима. С этими методами проводилась наша работа.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Достоинством химических методов определения доступного фосфора в почвах является то, что значения рН экстрагентов находятся в интервале <5,5–5,0. Они извлекают фосфор из разноосновных фосфатов кальция и полоторных окислов. Применение буферных рас-

творов (метод Эгнера-Рима) предотвращает вторичное осаждение фосфора.

Для почв черноземного типа использовали метод Чирикова (0,5 н.  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;  $\text{pH}=2,5$ ; почва : раствор 1 : 25), Труога (0,002 н.  $\text{H}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;  $\text{pH}=3,0$ ; почва : раствор 1 : 200), Францесона (0,006 н.  $\text{HCl}$ ;  $\text{pH}=3,1$ ; почва : раствор 1 : 10), Карпинского-Замятиной (0,03 н.  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; почва : раствор 1 : 5), Эгнера-Рима (0,04 н.  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \cdot 5\text{H}_2\text{O} + 5\text{н. HCl}$ ;  $\text{pH}=3,5-3,7$ ; почва : раствор 1 : 50). Фракционный состав фосфатов определяли по методу Гинзбург-Лебедевой [4].

Требования к разрабатываемым методам включают в себя хорошую воспроизводимость, возможность применения на почвах с различной реакцией среды, методическую простоту, определение в вытяжке наряду с фосфором и других элементов.

Многочисленные изыскания научно-исследовательских учреждений и Государственной агрохимической службы Западной Сибири, и в частности в Новосибирской области, показали, что оценка нуждаемости почв в доступном (подвижном) фосфоре по существующим стандартным методикам и шкалам к ним не соответствует фактической обеспеченности этим элементом. В результате рекомендации по применению фосфорных удобрений приводят к ошибочному распределению туков и в итоге к недобору зерна.

Наши исследования по диагностике фосфорного питания растений проводились в 1963–1990 гг. Почвенные образцы для анализа были отобраны при маршрутном агрохимическом обследовании, а также в многолетних полевых и вегетационных опытах с минеральными удобрениями в слое 0–20 см [5–7].

Определение запасов подвижного фосфора осуществлялось вышеназванными методами. В качестве стандарта использовался метод Чирикова. Объектами изучения были пахотные почвы черноземного типа Новосибирской области, которые составляют основной фонд плодородных земель. В полевых опытах с яровой пшеницей изучалась эффективность фосфорных удобрений. В течение вегетации определяли содержание подвижного фосфо-

ра изучаемыми методами и сопоставляли его с урожайностью зерна.

Динамика подвижного фосфора также изучалась в вегетационных опытах при оптимальной влажности (60 % от полной влагоёмкости). Изменение подвижного фосфора в почве наблюдали с помощью вышеназванных методов и рассчитывали корреляционные связи между ними по методу Доспехова [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Систематический мониторинг качественного состояния пахотных земель Новосибирской области в отношении определения подвижного фосфора по Чирикову показал, что средневзвешенное содержание его в течение более 40 лет колебалось в пределах 117–147 мг/кг почвы, что соответствует повышенной обеспеченности почв этим элементом [9]. В годы интенсивного применения минеральных удобрений (1981–1990 гг.) его величина изменялась незначительно в показаниях всех классов (групп) обеспеченности.

Наши исследования [5–7] свидетельствуют, что метод Чирикова обладает большой силой растворения и всегда дает преобладание труднорастворимых фосфатов над легкорастворимыми. Для сравнительного определения количества фосфора, извлекаемого кислотными вытяжками (по Труогу, Чирикову, Францесону), проанализированы 300 почвенных образцов из пахотного слоя почв Новосибирской области. Для метода Чирикова и Труога была взята шкала, предложенная Почвенным институтом им. В.В. Докучаева [4]. Для метода Францесона использована шкала, разработанная А.Е. Кочергиным для сибирских почвенных условий [6, 7].

При определении фосфора по методу Францесона 81 % образцов были отнесены к 1-му и 2-му классам согласно существующей шкале для этого метода. При использовании метода Чирикова и Труога около половины образцов характеризовалось повышенным, высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение почвенных образцов по классам обеспеченности подвижным фосфором**  
**Distribution of soil samples according to the security classes of labile phosphorus**

Степень обеспеченности фосфором	Метод					
	Францесона		Чирикова		Труога	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	% образцов	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	% образцов	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	% образцов
Очень низкая	0–5	53	0–20	Нет	0–30	Нет
Низкая	5–10	28	21–50	15	31–70	12
Средняя	10–15	16	51–100	35	71–120	32
Повышенная	15–20	3	101–150	21	121–180	26
Высокая	20	Нет	151–200	26	181–250	27
Очень высокая	Нет	Нет	>200	3	>250	3

По нашему мнению, различия в оценке обеспеченности рассматриваемых почв подвижным фосфором по методам Чирикова и Труога, с одной стороны, и методу Францесона – с другой, обусловлены несоответствием принятых шкал. Сравнение результатов полевых опытов с фосфорными удобрениями и аналитических данных показало, что рекомендованный для черноземов метод Чирикова менее всего реагирует на внесение различных доз по сравнению с методом Францесона [5, 6].

В полевых опытах с яровой пшеницей на черноземах выщелоченных в течение 4 лет (опыты 1–4) изучалась эффективность фосфоросодержащих туков. В течение вегетации (кущение, цветение, восковая спелость) определяли содержание в почве подвижного фосфора разными методами и сопоставляли

его с урожайностью зерна. Наиболее показательными оказались данные, полученные при сравнительном изучении обеспеченности почвы элементом в фазу кушения и урожайности зерна исследуемой культуры (табл. 2).

Независимо от колебаний величин подвижного фосфора по годам исследований, наиболее высокий коэффициент корреляции получен при сопоставлении урожайности зерна пшеницы с показаниями метода Францесона. Тесная обратная связь получена и для метода Эгнера-Рима, однако лишь в варианте с удобрениями.

Уксуснокислая вытяжка Чирикова во все годы исследований показывала высокую обеспеченность пшеницы подвижным фосфором. При этом коэффициент корреляции был самый низкий. С целью выявления чув-

Таблица 2

**Связь между урожайностью яровой пшеницы и содержанием подвижного фосфора в почве в фазу кушения**  
**Relations between spring wheat yield and the concentration of labile phosphorus in the soil during the tillage**

Вариант опыта	Урожайность зерна, т/га	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в почве (мг/кг) по показаниям методов		
		Францесона	Эгнера-Рима	Чирикова
Опыт 1				
Контроль	0,69	14,0	35,0	183,0
P <sub>40</sub>	1,02	14,0	67,0	202,5
Опыт 2				
Контроль	2,19	8,5	35,0	107,0
P <sub>40</sub>	2,46	9,0	47,0	124,5
Опыт 3				
Контроль	1,15	8,5	50,0	85,0
P <sub>40</sub>	1,25	9,0	83,0	112,5
Опыт 4				
Контроль	3,17	6,0	46,5	99,0
P <sub>40</sub>	3,49	6,5	36,5	103,0
Коэффициент корреляции				
Контроль		-0,848±0,167	0,230±0,779	-0,554±0,458
P <sub>40</sub>		-0,920±0,093	-0,908±0,106	-0,652±0,362



ствительности и практической применимости стандартного метода Чирикова было проведено сравнение показаний его с содержанием высокоосновных фосфатов в пахотных горизонтах Приобского плато [10], в результате чего установлена прямая зависимость между ними ( $r=0,862 \pm 0,160$ ).

Увеличение содержания в почве фосфатов кальция третьей группы на 1 мг/кг приводит к повышению данных метода Чирикова на 4 мг/кг. Таким образом, практически все изменения показания этого метода примерно на 74% обусловлены содержанием в почве высокоосновных фосфатов кальция.

Изложенные выше факторы свидетельствуют о том, что при практическом использовании метода Чирикова необходимо учитывать специфику фосфатного фонда региона, который определяется составом почвообразующих пород, валовыми запасами фосфора, гранулометрическим составом, содержанием высокоосновных фосфатов кальция. В соответствии с названными факторами в Новосибирской области выделяются три провинции [10–12].

Почвы первой провинции (Приобье, Присалаирье, Колывань-Томская возвышенность) отличаются слабой растворимостью высокоосновных фосфатов кальция (14–16%). На долю окклюдированных фосфатов, практически недоступных растениям, приходится 20–22% от валового фосфора. Химическому осаждению фосфора способствует значительное количество кальция в профиле почв. Поэтому концентрация ионов фосфора довольно низкая. На почвах этой провинции при значительных запасах  $P_2O_5$  по методу Чирикова отмечается положительное действие фосфорных удобрений.

В почвах второй провинции (Северная Кулунда) преобладают минеральные формы фосфатов – 53,5%. Химическое осаждение их происходит по причине большого количества солей кальция, трудногидролизуемой апатитовой фракции и железифосфатов. Между тем легкий гранулометрический состав почв при высоком содержании солей натрия и магния повышает доступность фосфора.

В Барабинской низменности (переходная зона к третьей провинции) органические фосфаты также преобладают над минеральными, но солонцеватость почв обеспечивает повышенную концентрацию ионов в почвенном растворе.

В Новосибирском Приобье метод Чирикова не дает объективной картины обеспеченности почв подвижным фосфором. Как в полевых, так и в вегетационных опытах фосфоросодержащие туки перестают действовать лишь при содержании в почве фосфора по Чирикову более 250 мг/кг.

В Северной Кулунде высоким является уровень уже не 250, а 190 мг/кг. В почвах восточной части Барабы данный предел составляет 250 мг/кг, а в Центральной части – всего лишь 150 мг/кг.

На основании полученных данных в Сибирском НИИ земледелия и химизации была разработана шкала обеспеченности черноземов Новосибирской области подвижным фосфором для метода Чирикова [10–12]. Откорректированная шкала учитывает региональные особенности фосфатного фонда территории (табл. 3).

Таблица 3

**Шкалы обеспеченности зерновых культур подвижным фосфором для чернозёмов Новосибирской области (по Чирикову)**

**Scales of the supply of crops with labile phosphorus for black soil in the Novosibirsk region (according to Chirikov)**

Обеспеченность почв $P_2O_5$ , мг/кг	Шкала агрохимслужбы	Шкала Сибирского НИИ земледелия и химизации				
		Новосибирское Приобье	Присалаирье	Северная Кулунда	Восточная Бараба	Центральная Бараба
Очень низкая	<20	-	-	-	-	-
Низкая	21–50	70–120	70–120	50–150	50–120	50–80
Средняя	51–100	120–190	120–190	150–190	120–200	80–120
Повышенная	101–150	-	-	-	-	-
Высокая	151–200	>250	>200	>190	>250	>150
Очень высокая	>200	-	-	-	-	-

Таким образом, на черноземах Новосибирской области, где преобладают малодоступные растениям высокоосновные фосфаты кальция и их окклюдированные формы, для периодической диагностики фосфорного питания зерновых культур целесообразно использовать метод Чирикова с учетом откорректированной шкалы.

В наших исследованиях [5–7] корректировка шкал в вегетационных опытах показала, что удобрения перестают действовать на Присалаирской дренированной равнине при содержании  $P_2O_5$  по Чирикову 200 мг/кг, на Приобском плато – 160 и в Восточно-Барабинском районе – 240 мг/кг почвы.

При равных запасах доступного фосфора растения не всегда в одинаковой степени обеспечены этим элементом. Н.П. Карпинский и В.Б. Замятина [4] считают необходимым ввести показатель определения подвижности, или фосфатного уровня почвенных фосфатов (фактор емкости). Подвижность почвенных фосфатов определяется интенсивностью перехода фосфат-ионов из почвы в раствор. В качестве показателя подвижности используется концентрация  $P_2O_5$  в солевой вытяжке (0,03 н.  $K_2SO_4$ ) при отношении почвы к раствору 1:10.

Для сравнения изучаемых методов и фосфатного уровня в почвах Новосибирской области нами было взято 125 образцов из пахотного горизонта в двух совхозах области (Тальменском и Красноярском) и почвы Новосибирской сельскохозяйственной опытной станции [6].

Исследованиями установлено, что фосфатный уровень равен в среднем 0,07 мг  $P_2O_5$  в 1 л раствора. Содержание фосфора колебалось в пределах 0,043–0,097 мг/л. При этом была обнаружена положительная довольно тесная корреляция ( $r=0,778\pm0,01$ ) фосфатного уровня с показателями метода Францесона и низкая и недостоверная связь с методом Чирикова ( $0,171\pm0,65$ ). Фосфатный уровень почвы находился в соответствии с выносом фосфора растениями.

Положительная корреляция фосфатного уровня с показателями метода Францесона, очевидно, свидетельствует, что фосфаты, из-

влекаемые солянокислой вытяжкой, относятся к соединениям, переходящим в раствор и поддающимся растворению корнями растений.

Дальнейшее изучение фосфатного уровня как диагностического показателя по фосфору было проведено на почвах сортоучастков и базовых хозяйств Новосибирской области [13]. Авторами предложена шкала обеспеченности почв легкоподвижным фосфором по Карпинскому и Замятиной (табл. 4).

В других исследованиях [14] на основе сопоставления почв сортоучастков с их неокультурными аналогами авторы предлагают определять степень окультуренности почв (СОП) по отношению содержания  $P_2O_5$  по Карпинскому-Замятиной (мг/кг) и содержания по Чирикову (мг/100 г почвы), умноженному на  $10^{-3}$ .

Таблица 4

**Градация обеспеченности почв подвижным фосфором (мг/кг) по Карпинскому-Замятиной для зерновых культур**  
**Gradation of the enrichment of soils with labile phosphorus (mg / kg) according to Karpinsky-Zamyatina for grain crops**

Уровень обеспеченности	Содержание $P_2O_5$
Низкий	До 0,35
Средний	0,36–0,65
Повышенный	0,66–1,0
Высокий	1,1–1,5
Очень высокий	Более 1,5

Так называемый фосфатный индекс (отношение) представлен в виде шкалы, где нижеследующие показатели означают: < 4 неокультурные почвы; 5–7 слабоокультурные почвы; >10 высокоокультурные почвы. Таким образом, параллельное определение  $P_2O_5$  в почве этим методом дает полную характеристику фосфатного состояния почв.

Освобождение фосфора из твердой фазы почвы и поглощение его растениями в течение вегетационного периода снижает концентрацию фосфора в почвенном растворе. Эти изменения, кроме других факторов, происходят под влиянием повышения или понижения влажности. В вегетационных опытах нами [6, 7] сравнивались три метода определения  $P_2O_5$  на почвах черноземного типа: Францесона, Эгнера-Рима, Чирикова. Между содержанием фосфора,

определенного по Францесону, и количеством продуктивной влаги выявлена достоверная обратная линейная корреляция ( $r = -0,923 \pm 0,08$ ). Несколько непонятна положительная связь этих показателей при анализе по методу Эгнера-Рима ( $r = 0,693 \pm 0,26$ ), достоверность которого не подтверждается, так как  $t_{\text{факт}}$  меньше  $t_{\text{табл}}$ , коэффициент детерминации  $r^2 = 48\%$ .

Коэффициенты корреляции метода Чирикова выражаются в малых единицах, и прямой линейной связи между этими показателями не наблюдается. В зоне действия лактатного растворителя Эгнера-Рима, очевидно, соотношение между усвояемыми и труднодоступными формами складывалось в пользу последних.

Многолетние исследования на почвах Новосибирской области показали [11], что одновременно с использованием метода Чирикова для контроля за фосфатным состоянием почв можно проследить, кроме фосфатного уровня (метод Карпинского-Замятиной), показания фосфатного потенциала по методу Скофилда (вытяжка  $0,01 \text{ M CaCl}_2$ ). Автор метода выражал его через сумму двух химических потенциалов ионов  $\text{Ca}$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , которые регулируют доступность фосфора растениям, характеризуют величину энергии, необходимую для извлечения его из почвенных соединений и зависят от поглотительных свойств почв. Последние носят региональный характер. Для характеристики почв чернозёмного типа Новосибирской области предложена шкала для этого показателя. Оптимальные условия питания пшеницы наступают в почвах Приобья и Присалаирья при содержании  $\text{P}_2\text{O}_5$   $0,2\text{--}0,3 \text{ мг/л}$ , в Барабе –  $0,3\text{--}0,4$ , в Северной Кулунде –  $0,2\text{--}0,3 \text{ мг/л}$ .

Таким образом, вышеназванные исследования на почвах чернозёмного типа Новосибирской области показали несовершенство стандартного метода Чирикова для определения доступного фосфора.

В Сибирском НИИ земледелия и химизации СФНЦА для изучения оптимальных параметров фосфорного питания зерновых культур на почвах чернозёмного типа предложены дополнительно другие методы [15]. Ю.И. Берхин с сотрудниками проводили

определение доступного фосфора методами Николова и ЛАК-методом. Метод Николова основан на извлечении фосфора и других элементов аммонием яблочнокислым (рН 5,7) при отношении почвы к раствору  $1 : 20$ . ЛАК-метод извлекает фосфор смесью молочнокислого и уксуснокислого кальция, забуференного уксусной кислотой до рН 4,1 при отношении почвы к раствору  $1 : 20$ . ЛАК-метод апробирован на почвах чернозёмного типа в 19, метод Николова – в 7 хозяйствах Новосибирской области.

В полевых и вегетационных опытах с фосфорными удобрениями проведено сопоставление продуктивности пшеницы и содержания  $\text{P}_2\text{O}_5$  в вытяжках по методам Чирикова, Николова и ЛАК-метода. Метод Николова и ЛАК-метод показали высокие коэффициенты корреляции ( $r = 0,85\text{--}0,93$ ). По методу Чирикова наблюдалось несоответствие оценки фосфорного питания растений и их реакции на внесение удобрений. Получены низкие коэффициенты корреляции. Авторы разработали шкалы обеспеченности почв этим элементом к методам Николова и ЛАК-методу и рекомендуют проводить контроль за условиями фосфорного питания растений. Авторы предложили понятие периодической диагностики, которая позволяет характеризовать фактические запасы доступного фосфора в почве, определяемые этими методами. Наиболее подвижные формы фосфора, которые изменяются в течение вегетационного периода, авторы предлагают проверять в солевой вытяжке ( $0,03 \text{ н. K}_2\text{SO}_4$ ) по методу Карпинского-Замятиной. С помощью так называемой «оперативной диагностики» ведутся наблюдения рано весной или поздно осенью. Она характеризует степень перехода фосфат-ионов в почвенный раствор и наличие остаточных фосфатов для питания растений в ближайший вегетационный период.

Наряду с применением уже испытанных методов, в настоящее время ведется поиск нового экстрагента, который извлекает наиболее доступные формы соединений фосфора, участвующие в питании растений в течение вегетационного сезона [3,16,17]. Требования

к разрабатываемому методу включают в себя хорошую воспроизводимость, возможность применения на почвах с различной реакцией среды, методическую простоту, возможность определения в вытяжке наряду с фосфором и других элементов. А. В. Пуховским предложена модификация метода Францесона определения легкодоступных фосфатов в 0,01M HCl. Для каждого метода разработаны соответствующие шкалы обеспеченности почв подвижным фосфором [18].

В настоящее время в НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН продолжаются исследования по сравнению методов определения доступного фосфора на выщелоченных черноземах на базе многолетних стационарных полевых опытов, включающих 3- и 4-польные севообороты, севооборот без пара и другие агрофоны. Динамика фосфора в почве отслеживается с помощью методов Чирикова, Николова, Карпинского-Замятиной и ЛАК-метода.

По количеству извлекаемого из почвы фосфора исследованные методы образуют следующий убывающий ряд: метод Чирикова, ЛАК-метод, метод Николова, метод Карпинского-Замятиной. Если результаты, получаемые методом Чирикова, принять за 100%, то данные ЛАК-метода будут составлять примерно 18%, метода Николова – 14 и метода Карпинского-Замятиной – всего лишь 0,4%. Ни один из методов не отражал устойчиво изменение содержания соединений фосфора в почве в течение вегетационного периода (под культурой или в паровом поле). Однако все методы достаточно четко регистрировали увеличение содержания подвижных фосфатов в почве при многолетнем применении фосфорного удобрения. Под влиянием 16-летнего применения  $P_{30}$  (в расчете на год) содержание  $P_2O_5$  в почве 4-польного зернопарового севооборота увеличилось (мг/кг): по методу Чирикова – с 278 до 338 (22%), ЛАК – с 26 до 82 (215%), Николова – с 22 до 60 (173%) и Карпинского-Замятиной – с 0,37 до 2,29 (619%) (по материалам научного отчёта 2018 г.).

Дальнейшее изучение фосфорного питания растений и выявление оптимального метода для его диагностики послужит основанием

для практических мер по сохранению плодородия почв Новосибирской области и рациональному использованию фосфорных удобрений.

## ВЫВОДЫ

1. Изучение фосфорного питания зерновых культур на почвах чернозёмного типа в Новосибирской области с помощью принятых методик показало их несовершенство. Существенным недостатком всех методов определения доступного фосфора является химическое осаждение его за счет обилия солей кальция труднодоступной апатитовой фракции и железофосфатов.

2. В почвах Новосибирской области проведено сравнение методов Труога, Чирикова, Эгнера-Рима, Францесона, Карпинского-Замятиной, Николова, Скофилда и ЛАК-метода. Растворители, применяемые в этих методах, извлекали из почвы разное количество фосфора. Наибольшее содержание его обнаружено по методам Труога и Чирикова, наименьшее – по Францесону и Карпинскому-Замятиной.

3. Растворители методов Чирикова и Труога извлекают из почвы труднодоступные для растений формы фосфора. Принятый в агрохимической службе метод Чирикова необходимо использовать с учетом разработанной шкалы, которая учитывает региональные особенности фосфатного фонда почв чернозёмного типа Новосибирской области.

4. Методы Эгнера-Рима, Францесона и Карпинского-Замятиной извлекают из почвы наиболее подвижные формы фосфора, которые используются в течение текущего вегетационного периода.

5. Динамика фосфора по методу Чирикова и Труога не находилась в прямой связи с почвенными условиями и потреблением его растениями.

6. Для проведения периодической диагностики, которая характеризует фактические запасы доступного фосфора в почве, предложены методы Николова и ЛАК-метод. В вегетационных и полевых опытах с фосфорными удобрениями метод Чирикова дает низкую оценку фосфорного питания и реакции на внесение



удобрений. Метод Николова и ЛАК-метод показали высокие коэффициенты корреляции.

7. Для проведения оперативной диагностики, которая характеризует степень перехода фосфат-ионов в почвенный раствор и наличие остаточных фосфатов, целесообразно пользоваться методом Карпинского-Замятиной. Разработана шкала для этого метода.

8. Для контроля за фосфатным состоянием почв предлагается метод Скофилда, кото-

рый дает величину энергии, необходимой для извлечения фосфора из почвенных соединений, зависит от поглотительных свойств почв и носит региональный характер. Для почв чернозёмного типа Новосибирской области предложены показатели для этого метода, характеризующие оптимальные условия фосфорного питания растений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чумаченко И.Н. Аспекты исследования фосфорного режима оптимизации эффективности фосфорных удобрений // Совершенствование методологии исследований фосфатного режима почв, оптимизация фосфорного питания и баланса фосфора в агроэкосистемах: материалы междунар. симп. – М., 1999. – С. 23–26.
2. Кузьмич М.А. Оценка методов определения подвижных фосфатов // Агрохим. вестн. – 2002. – № 2 – С. 28–30.
3. Методы оценки показателей фосфатного состояния почв России и пути их совершенствования / В.Г. Сычев, П.Д. Музыкантов, Р.Н. Попова [и др.] // Совершенствование методологии исследований фосфатного режима почв, оптимизация фосфорного питания и баланса фосфора в агроэкосистемах: материалы междунар. симп. – М., 1999. – С. 10–22.
4. Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почве // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – С. 106–187.
5. Аверкина С.С. Сравнительная оценка методов определения фосфора в чернозёмах Приобья Новосибирской области в связи с применением удобрений: автореф. дис. ... канд с.-х. наук. – Новосибирск, 1971. – 25 с.
6. Аверкина С.С. Методы определения подвижных фосфатов на чернозёмах Сибири. – Б.М., Lap Lambert Academic Publishing, 2012. – С. 6–92.
7. Аверкина С.С. Определение подвижных фосфатов в почвах Новосибирской области // Плодородие почв и питание растений: сб. науч. тр. СибНИИЗхим. – Новосибирск, 1989. – С. 85–89.
8. Доспехов Б. А. Методика опытного дела. – М.: Колос, 1968. – С. 352.
9. Степанов М.И., Ефимова Г.И. Оценка плодородия пахотных почв Новосибирской области // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2001. – № 5–6. – С. 13–18.
10. Антипина Л.П. Диагностика почвенного питания фосфором под зерновые культуры в Западной Сибири // Применение фосфорных удобрений: науч.-техн. бюл. / СибНИИЗхим. – 1989. – № 1. – С. 3–9.
11. Оптимизация фосфатного режима почв Новосибирской области: метод. рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибНИИЗхим; Л.П. Антипина, Л.П. Малыгина, А. И. Южаков [и др.]. – Новосибирск, 1990. – С. 22.
12. Научное обоснование распределения фосфорных удобрений по Новосибирской области: рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибНИИЗхим; Л.П. Антипина, Н.К. Пашкович, С.С. Аверкина [и др.]. – Новосибирск, 1986. – С. 31.
13. Чагина Е.Г., Берхин Ю.И. Хацевич А.И. Изменение плодородия почв при интенсивном земледелии. – Новосибирск: Наука СО РАН, 1986. – С. 3–56.
14. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г. Одновременное определение азота нитратов и фосфора в солевой вытяжке // Агрохимия. – 1983. – № 1. – С. 119–121.
15. Берхин Ю.И., Чагина Е.Г. Янцен Е.Д. Проблемы диагностики фосфорного питания в условиях интенсивного земледелия // Почвенно-агрохимические проблемы интенсификации земледелия: сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибНИИЗхим. – Новосибирск, 1989. – С. 128–137.

16. Пуховский А. В. Моделирование мобилизационных процессов в почве // *Агрохим. вестн.* – 2002. – № 6. – С. 12–13.
17. Пуховский А.В. Экспрессионный метод определения степени подвижности почвенных фосфатов // *Агрохим. вестн.* – 2000. – №6. – С. 32–34.
18. *Практикум по агрохимии* / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, О.А. Емельянчик [и др.]. – М., 2001. – С. 660–661.

## REFERENCES

1. Chumachenko I.N. *Aspekty issledovaniya fosforogo rezhima optimizacii jeffektivnosti fosfornyh udobrenij* (Aspects of the study of the phosphorus mode of optimizing the effectiveness of phosphorus fertilizers), Proceeding of the International Symposium, Moscow, 1999, pp. 23–26. (In Russ.)
2. Kuz'mich M.A. Ocenka metodov opredeleniya podvizhnyh fosfatov, *Agrohimicheskij vestnik*, 2002, No. 2, pp. 28–30. (In Russ.)
3. Sychev V.G., Muzykantov P.D., Popova R.N. *Metody ocenki pokazatelej fosfatnogo sostojaniya pochv Rossii i puti ih sovershenstvovaniya* (Methods for assessing indicators of the phosphate state of soils in Russia and ways to improve them), Proceeding of the International Symposium, Moscow, 1999, pp. 10–22. (In Russ.)
4. Ginzburg K. E. *Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv* (Agrochemical soil research methods), Moscow, Nauka, 1975, 187p.
5. Averkina S.S. *Sravnitel'naja ocenka metodov opredeleniya fosfora v chernozjomah Priob'ja Novosibirskoj oblasti v svyazi s primeneniem udobrenij* (Comparative evaluation of methods for the determination of phosphorus in chernozems of the Ob region of the Novosibirsk region in connection with the use of fertilizers), Extended abstract of candidate's thesis, Novosibirsk, 1971, 25 p.
6. Averkina S.S. *Metody opredeleniya podvizhnyh fosfatov na chernozjomah Sibiri* (Methods for the determination of mobile phosphates on chernozems of Siberia), Lap Lambert Academic Publishing, 2012, 92 p.
7. Averkina S.S. Opredelenie podvizhnyh fosfatov v pochvah Novosibirskoj oblasti, *Plodorodie pochv i pitanie rastenij. Sb. nauch. tr.SibNIIZh*, 1986, pp. 85–89. (In Russ.)
8. Dosphehov B.A. *Metodika opytnogo dela* (Experimental Technique), Moscow, Kolos, 1968, 352 p.
9. Stepanov M.I., Efimova G.I. Ocenka plodorodija pahotnyh pochv Novosibirskoj oblasti, *Sibirskij vestnik s.h. nauki*, 2001, No. 5–6, pp. 13–18. (In Russ.)
10. Antipina L.P. Diagnostika pochvennogo pitaniya fosforom pod zernovye kul'tury v Zapadnoj Sibiri, *Primenenie fosfornyh udobrenij, Nauch. – tehnic. bjul.*, Novosibirsk, SIBNIIZh, 1989, No. 1, pp. 3–9 (In Russ.)
11. Antipina L.P., Malygina L.P., Juzhakov A.I. *Optimizacija fosfatnogo rezhima pochv Novosibirskoj oblasti* (Optimization of the phosphate regime of soils in the Novosibirsk Region) Metod. rekomendacii, VASHNIL SibNIIZh, Novosibirsk, 1990, 22 p.
12. Antipina L. P., Pashkovich N. K., Averkina S. S. Nauchnoe obosnovanie raspredeleniya fosfornyh udobrenij po Novosibirskoj oblasti (Scientific substantiation of the distribution of phosphate fertilizers in the Novosibirsk region), Rekomendacii: VASHNIL SibNIIZh, Novosibirsk, 1986, 31 p.
13. Chagina E. G., Berhin Ju.I. Hacevich A. I. *Izmenenie plodorodija pochv pri intensivnom zemledelii* (Change in soil fertility with intensive farming), Novosibirsk, Nauka SO RAN, 1986, 56 p.
14. Berhin Ju.I., Chagina E. G. Odnovremennoe opredelenie azota nitratov i fosfora v solevoj vytjazhke, *Agrohimija*, No. 1, 1983, pp. 119–121. (In Russ.)
15. Berhin Ju.I., Chagina E. G. Jancen E. D. Pochvenno-agrohimicheskie problemy intensivkacii zemledelija, *Sib. Sb. nauch. tr. VASHNIL SibNIIZh*, Novosibirsk, 1989, pp. 128–137. (In Russ.)
16. Puhovskij A. V. Modelirovanie mobilizacionnyh processov v pochve, *Agrohimicheskij vestnik*, 2002, No. 6, pp.12–13. (In Russ.)
17. Puhovskij A. V. Jekspressionnyj metod opredeleniya stepeni podvizhnosti pochvennyh fosfatov, *Agrohimicheskij vestnik*, 2000, No. 6, pp. 32–34. (In Russ.)
18. Mineev V.G, Sychev V.G, Emel'janchik O.A. *Praktikum po agrohimii* (Workshop on Agricultural Chemistry), Moscow, 2001, 661 p.