

## **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ ФОСФАТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ПОЧВЕ**

**Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Грачёва А. А., Зенькова С. М.**

*Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Устойчивый уровень фосфорного питания растений является показателем плодородия почвы, определяющим гарантированно высокую урожайность сельскохозяйственных культур. Наиболее тесную связь с почвообразованием и степенью окультуренности почвы, по мнению Н. П. Карпинского [1], имеют общее содержание и формы почвенных фосфатов.

В агрохимических исследованиях при оценке доступности растениям почвенных фосфатов в дерново-подзолистых почвах определяется подвижный фосфор по методу Кирсанова. Однако опыты показали, что очень часто содержание фосфора в почве, определяемое данным методом, не отражает действительной обеспеченности растений элементом, особенно при высоких его запасах в почве [2, 3].

Во многих работах [4–8] указывается, что при исследовании фосфатного состояния почв наряду с определением содержания подвижных фосфатов с использованием метода Кирсанова необходимо определять степень подвижности фосфатов, что позволяет более точно охарактеризовать обеспеченность почв усвояемым фосфором и судить о потребности их в фосфорных удобрениях. Изменение этого показателя может выявить, вносились ли удобрения между циклами обследования или использовался запас питательных веществ, внесенный в предыдущие годы. Для определения степени подвижности фосфатов, наряду с другими, используется метод Карпинского-Замятиной [1].

Агрохимические свойства почв не остаются постоянными во времени даже на протяжении вегетационного периода и тесно связаны с динамикой элементарных почвенных процессов, интенсивность, цикличность и направление которых регулируются жизнедеятельностью микроорганизмов, физико-химическими взаимодействиями, развитием растений [9, 10]. Поэтому произвольное разовое определение какого-либо почвенного показателя может быть объективным только для времени отбора пробы. Вследствие этого знание динамики почвенных процессов весьма важно для достоверного суждения о плодородии той или иной почвы. Особенно это актуально для показателя степени подвижности фосфатов, который характеризуется высокой вариабельностью.

Цель работы – изучение факторов и закономерностей, определяющих сезонную динамику степени подвижности фосфатов в дерново-подзолистой легкосуглинистой высокоокультуренной почве.

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Полевые исследования по изучению трансформации в течение вегетационного периода степени подвижности фосфатов проводили в стационарном опыте

РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в звене севооборота: кукуруза на зерно (2021–2022 гг.) – яровая пшеница (2022–2023 гг.). Опыт был развернут в пространстве в двух полях.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя. Поле 1:  $pH_{KCl}$  – 6,0–6,3, гумус – 2,0–2,2 %, содержание подвижного  $K_2O$  по Кирсанову – 310–340 мг/кг,  $P_2O_5$  – 1000–1090 мг/кг почвы, степень подвижности фосфатов – 1,00–1,10 мг/л раствора. Поле 2:  $pH_{KCl}$  – 6,2–6,5, гумус – 2,0–2,1 %, содержание подвижного  $K_2O$  по Кирсанову – 250–270 мг/кг,  $P_2O_5$  – 1070–1130 мг/кг, степень подвижности – 1,30–1,40 мг/л раствора.

Опытные культуры – кукуруза гибрид Фродо F1 (ФАО 230) и яровая пшеница сорт Мадонна.

Системы удобрения, действие которых на динамику степени подвижности фосфатов изучалось в опыте, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Схемы опыта с кукурузой и яровой пшеницей

Общая схема	Кукуруза	Яровая пшеница
Без удобрений	без удобрений	без удобрений
N	$N_{90+30}$	$N_{70+30+40}$
NPK	$N_{90+30}P_{70}K_{120}$	$N_{70+30+40}P_{70}K_{120}$
Навоз + N	Навоз + $N_{90+30}$	1-й год последействия навоза + $N_{70+30+40}$
N + Гг	$N_{90+30}$ + Гидрогумат ((3+1) л/га)	$N_{70+30+40}$ + Гидрогумат ((3+1) л/га)

Сроки применения и формы минеральных удобрений были следующие: фосфорные – аммонизированный суперфосфат (перед посевом), калийные – хлористый калий (перед посевом), азотные – мочевина (перед посевом и подкормка в фазу 5–6 листьев у кукурузы; перед посевом, в первый узел и флаг-лист у пшеницы). Гидрогумат применяли после посева кукурузы и яровой пшеницы до появления всходов – в дозе 3 л/га; в фазу 5–6 листьев у кукурузы и 1-го узла у пшеницы – некорневая подкормка в дозе 1 л/га.

Навоз КРС внесен на поле 1 осенью 2020 г., на поле 2 – осенью 2021 г. под вспашку.

Для контроля динамики степени подвижности фосфатов отбор почвенных образцов по делянкам опыта проводили в критические фазы роста и развития растений: у кукурузы – перед посевом, 5–6 листьев, 8–10 листьев, цветение, полная спелость; у яровой пшеницы – перед посевом, в фазе 3 листа, 1 узел, колошение и в полную спелость.

Степень подвижности фосфатов определяли по методу Карпинского-Замятиной в 0,015 М  $K_2SO_4$  [1].

Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [11] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Сезонную динамику подвижных соединений фосфора в почве обычно связывают с влажностью и температурой почвы. Наибольшее содержание подвижных форм фосфора наблюдается в периоды оптимального сочетания температуры

и влажности почвы, способствующих проявлению микробиологической активности. Недостаток или избыток влаги, тепла, ограничивая микробиологическую деятельность, снижает содержание доступных фосфатов в почве [12, 13]. В связи с этим в течение вегетации исследуемых культур осуществлялся мониторинг за динамикой выпадения осадков, влажностью пахотного слоя почвы, за температурой воздуха и почвы (табл. 2, 3).

Гидротермические условия вегетационного периода кукурузы в 2021 г. характеризовались высокой влагообеспеченностью за исключением периода от 8–10 листьев до цветения, когда количество осадков составило 29 % от нормы, а влажность почвы к цветению снизилась до 10 %. Как известно, оптимальные условия увлажнения наблюдаются при влажности почвы, равной наименьшей влагоемкости и сохраняются в некотором диапазоне. Верхним пределом оптимальной влажности считают показатель 100 % наименьшей влагоемкости (НВ), а нижним – 70 % НВ, что для суглинистых и глинистых почв соответствует влажности разрыва капилляров [14–18]. Для исследуемой почвы НВ составляет 25 % абсолютной влажности почвы, 70 % НВ соответственно 17,5 %. Таким образом, в опыте влажность почвы к моменту цветения кукурузы была значительно ниже оптимального уровня.

Температурный режим существенно отклонялся от среднееголетних значений: в период от 5–6 листьев до цветения среднесуточные температуры превышали норму, а в остальное время наблюдался недобор тепла.

Таблица 2

**Гидротермические условия вегетационного периода кукурузы  
(12.05.–03.10.2021 г. и 12.05.–09.10.2022 г.)**

Показатели	Год	посев – 5–6 листьев	5–6 – 8–10 листьев	8–10 листьев – цветение	цветение – уборка
Продолжительность периода, дн.	2021	37	12	26	70
	2022	42	21	26	62
Средние t за период, °C (норма)	2021	14,6 (14,9)	22,8 (17,1)	21,9 (18,4)	14,1 (14,9)
	2022	14,5 (15,2)	19,7 (17,8)	18,0 (18,7)	13,9 (13,5)
Сумма осадков, мм (норма)	2021	104,3 (90)	61,9 (39)	22,5 (78)	211,2 (147,4)
	2022	134,6 (103,6)	73,5 (66,4)	28,9 (67,4)	95,3 (125,8)
Влажность почвы, % (начало/конец периода)	2021	24,1/18,0	18,0/22,6	22,6/10,0	10,0/20,8
	2022	21,0/19,8	19,8/21,2	21,2/15,2	15,2/19,6
Температура почвы на глубине 10 см, °C (начало/конец периода)	2021	11,7/23,3	23,3/24,7	24,7/22,0	22,0/11,8
	2022	11,0/19,8	19,8/20,0	20,0/20,2	20,2/13,0

В 2022 г. режим выпадения осадков в начальные периоды вегетации кукурузы (до фазы 8–10 листьев) характеризовался превышением нормы на 10–30 %. В дальнейшем количество осадков было ниже среднееголетнего показателя (43–76 % от нормы). Влажность почвы, как и в предыдущем году, в период цветения кукурузы опускалась ниже предела оптимального уровня. Температурный фон был ниже, чем в 2021 г. на протяжении всего периода вегетации.

Мониторинг гидротермических условий, вегетационных периодов яровой пшеницы также показал существенные отклонения основных показателей от нормы (табл. 3). В 2022 г. в период от посева до появления 1-го узла у яровой пшеницы наблюдался недобор тепла и высокая влагообеспеченность в дальнейшем при повышении температурного фона количество осадков снизилось. В результате в период от колошения до уборки влажность почвы была на уровне 13,1–15,0 %, что ниже оптимального уровня.

Таблица 3

**Гидротермические условия вегетационных периодов яровой пшеницы  
(28.04.2022 г.–23.08.2022 г. и 27.04.2023 г.–16.08.2023 г.)**

Показатели	Год	посев – 3 листа	3 листа – 1-й узел	1-й узел – колошение	колошение – уборка
Продолжительность периода, дн.	2022	27	12	29	50
	2023	25	17	19	51
Средние t за период, °C (норма)	2022	10,0 (12,6)	12,7 (15,1)	19,6 (16,8)	18,7 (18,3)
	2023	10,0 (12,2)	14,6 (15,0)	19,5 (16,5)	18,8 (18,4)
Сумма осадков, мм (норма)	2022	51,3 (54,2)	41,8 (25,5)	44,5 (88,4)	102,3 (125,4)
	2023	10,5 (47,9)	0 (40,9)	37,0 (57,6)	235,3 (138,4)
Влажность почвы, % (начало/конец пери- ода)	2022	24,8/25,2	25,2/23,7	23,7/13,1	13,1/15,0
	2023	26,2/19,3	19,3/14,2	14,2/5,7	5,7/17,0
Температура почвы на глубине 10 см, °C (на- чало/конец периода)	2022	11,5/18,7	18,7/20,0	20,0/23,2	23,2/23,5
	2023	12,0/20,0	20,0/23,8	23,8/24,5	24,5/24,0

В 2023 г. средние температуры воздуха были на уровне предыдущего года, за исключением периода от 3-х листьев до первого узла у яровой пшеницы, когда установились более теплые условия. Сильно отличались от предыдущего года условия увлажнения. В период до колошения количество осадков было значительно ниже нормы и в результате к колошению влажность почвы составила всего 5,7 %. От колошения до уборки условия увлажнения кардинально изменились, за данный период выпало 235,3 мм осадков, или 170 % от нормы, но при этом влажность почвы не достигла оптимального уровня.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными факторами, определяющими изменения в степени подвижности фосфатов за вегетационный период, являются внесение фосфорных удобрений, поглощение фосфора возделываемыми сельскохозяйственными культурами, а также складывающиеся гидротермические условия.

Степень подвижности фосфатов динамичный показатель фосфатного состояния почвы, который изменяется в результате применения удобрений. В опыте на поле 1 наибольшие значения степени подвижности фосфатов в целом были характерны для варианта с внесением минеральных фосфорных удобрений совместно с азотом и калием (NPK) и при применении 60 т/га навоза КРС совместно с минеральными азотными удобрениями (Навоз + N) (рис.1).

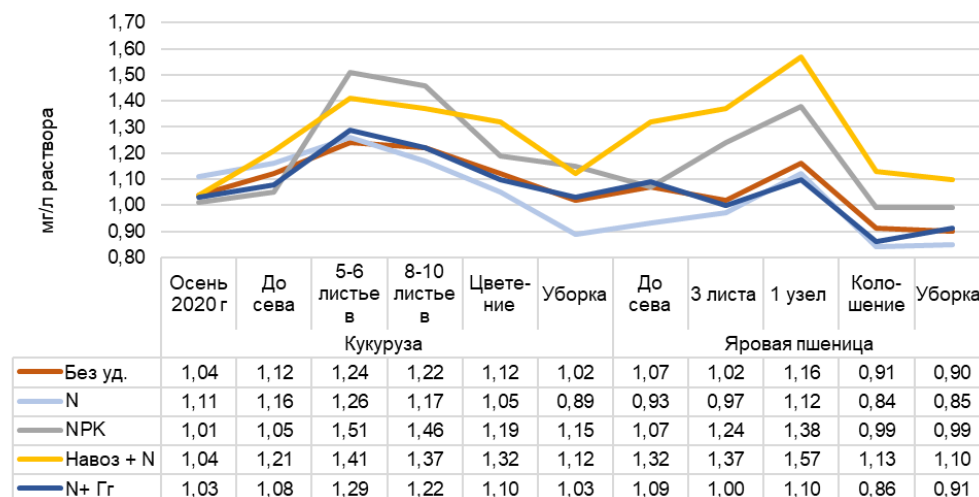


Рис. 1. Влияние систем удобрения на динамику степени подвижности фосфатов в звене севооборота кукуруза–яровая пшеница, мг/л раствора, поле 1 (2020–2022 гг.)

На поле 2 обращает на себя внимание то, что динамика степени подвижности фосфатов в варианте Навоз + N не имела преимуществ перед вариантом с моноазотной системой удобрения или вариантом без удобрений (рис. 2). Данное обстоятельство можно объяснить качеством подстильного навоза, так если на поле 1 с 60 т навоза на 1 га было внесено 204 кг фосфора, то на поле 2 всего 76 кг.

Таким образом, достоверные преимущества системы Навоз + N перед моноазотной системой были установлены только на поле 1 (при внесении с навозом 204 кг/га фосфора) и наблюдались как в год действия навоза, начиная с фазы цветения у кукурузы, так и в первый год последействия – до уборки яровой пшеницы. В этот период показатели степени подвижности фосфатов в варианте, предусматривающем внесение органических удобрений, были выше на 0,23–0,45 мг/л раствора, или 26–42 %, чем в варианте с применением только азотных удобрений.

При внесении минеральных фосфорных удобрений в системе NPK пики повышения степени подвижности фосфатов наблюдались в зависимости от года (поля) в фазах 5–6 – 8–10 листьев у кукурузы и 3 листа – 1-й узел у яровой пшеницы, т. е. в начальные периоды роста. Необходимо отметить, что на поле 1 в эти фазы установлено

достоверное преимущество в величине показателя в данном варианте по отношению к вариантам с моноазотной системой и без удобрений ( $НСР_{05} = 0,16-0,19$ ).

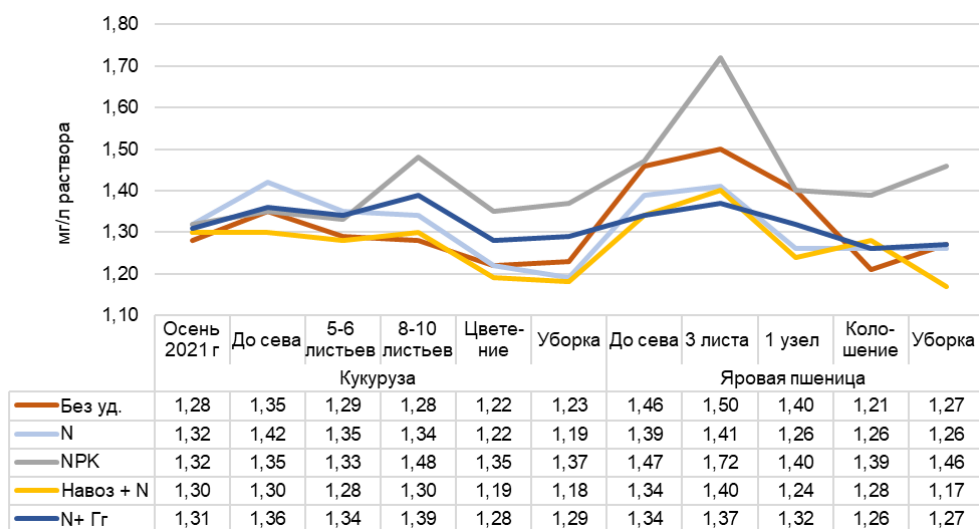


Рис. 2. Влияние систем удобрения на динамику степени подвижности фосфатов в звене севооборота кукуруза – яровая пшеница, мг/л раствора, поле 2 (2021–2023 гг.)

На поле 2 достоверными были различия, отмечавшиеся в фазе 3 листа у яровой пшеницы ( $НСР_{05} = 0,18$ ). В посевах кукурузы в фазе 8–10 листьев отмечена четко выраженная тенденция повышения степени подвижности фосфатов на 0,14 мг/л (10 %) в варианте NPK по отношению к моноазотной системе удобрения.

В целом по опыту внесение фосфорных удобрений повышало степень подвижности фосфатов в начальные периоды роста и развития растений на 0,14–0,31 мг/л раствора, или на 10–28 %.

В литературе можно встретить данные о влиянии Гидрогумата на увеличение подвижности фосфора в почве [19, 20], при этом отмечается, что гуминовые удобрения наиболее эффективны при значительном недостатке фосфатов в почве. В наших исследованиях на высокообеспеченной фосфором почве были получены разноречивые результаты. Если в посевах кукурузы по двум полям отмечалось преимущество варианта N + Гидрогумат перед моноазотной системой (снижение степени подвижности за вегетацию в варианте N составило 0,23–0,27 мг/л раствора (16–23 %), в варианте N + Гидрогумат – 0,05–0,07 мг/л раствора (5 %), то в посевах яровой пшеницы по двум полям существенных различий между вариантами не обнаружено (снижение степени подвижности за вегетацию в варианте N составило 0,08–0,13 мг/л раствора (9 %) в варианте N + Гидрогумат – 0,07–0,18 мг/л раствора (5–17 %).

Кроме изменений в показателе степени подвижности обусловленных внесением удобрений можно заметить изменения не связанные с применяемыми системами удобрения, так, например, на поле 1 в посевах кукурузы в фазе 5–6 листьев и в посевах яровой пшеницы в фазе 1 узла степень подвижности фосфатов достоверно повышалась по всем вариантам опыта. Эти изменения можно объяснить улучшением гидротермических условий.

Многие исследователи связывают сезонную динамику доступных фосфатов в почве с температурой и влажностью почвы [12, 13, 21, 22]. При этом рост количества фосфора весной связывают с низкими температурами и промерзанием почвы [13, 23, 24], в летний же период повышение температур воздуха и почвы способствует улучшению микробиологической активности, и органический фосфор в результате его минерализации становится доступным для растений [25, 26].

О влиянии влажности на содержание подвижных фосфатов в почве в литературе приводятся разноречивые данные. Так, в одних источниках [27, 28] говорится, что именно процесс высушивания почвы играет важную роль в повышении обеспеченности ее доступными фосфатами. Другие исследователи склоняются к мнению, что количество фосфора в почве увеличивается при повышении влажности [12, 13, 21]. Так А. Е. Возбуцкая [29] объясняет это тем, что при высыхании почвы некоторое количество фосфат-ионов осажается, при увлажнении, наоборот, происходит переход дополнительных количеств фосфат-ионов в почвенный раствор. То есть с увеличением влажности общее количество растворенных фосфатов возрастает. По данным Р. Е. Елешева [30] повышение влажности почвы до уровня 80 % НВ ослабляет переход растворимых фракций кальциевых фосфатов в высокоосновные формы и повышает их подвижность.

Анализ динамики степени подвижности фосфатов (в среднем по вариантам опытов) и гидротермических условий показывает, что наибольшее содержание фосфатов, растворимых в солевом растворе приходилось на теплый период года (май–июнь). Также установлена связь динамики степени подвижности фосфатов с изменениями в условиях увлажнения на протяжении вегетационного периода (рис. 3).

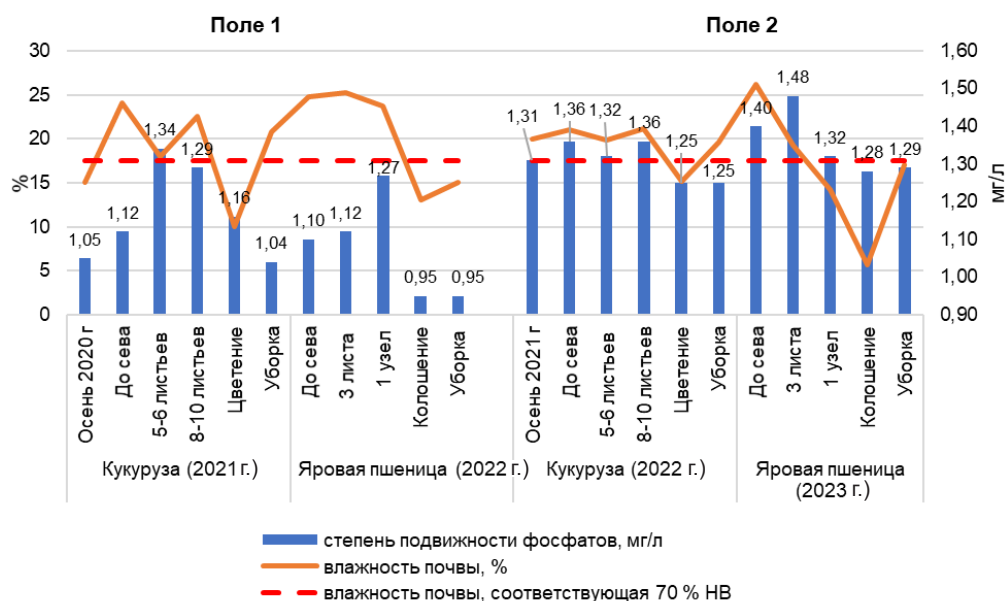


Рис. 3. Динамика степени подвижности фосфатов и влажности почвы, поле 1 и 2

В опыте по двум культурам и двум полям условия складывались так, что в начале вегетации увлажнение было хорошим и влажность почвы была выше



нижнего порога оптимального (17,5 %). В этих условиях и с ростом температур воздуха и почвы степень подвижности фосфатов возрастала. Как исключение можно отметить посевы кукурузы на поле 2, где в условиях высокого начального показателя степени подвижности (1,31 мг/л раствора) и стабильной влажности почвы количество растворимого в  $K_2SO_4$  фосфора (1,32–1,36 мг/л) практически не менялось до фазы 8–10 листьев у кукурузы.

При снижении влажности почвы ниже оптимального значения наблюдалось существенное снижение степени подвижности фосфатов, так на поле 1 в посевах кукурузы при снижении влажности почвы с 22,6 до 10,0 % в период от 8–10 листьев до цветения степень подвижности снизилась на 0,13 мг/л (10 %), при возделывании яровой пшеницы на этом поле при прохождении фаз от 1-го узла до колошения наблюдалось иссушение почвы, со снижением влажности с 23,7 до 13,1 %, степень подвижности фосфатов снизилась при этом на 0,32 мг/л (25 %).

На поле 2 также можно отметить те же закономерности – при снижении влажности почвы в период 8–10 листьев – цветение у кукурузы с 22,2 до 15,2 % степень подвижности уменьшилась на 0,11 мг/л раствора (8 %). В посевах яровой пшеницы был отмечен наиболее длительный в опыте засушливый период, длившийся от посева до колошения, снижение степени подвижности фосфатов при этом наблюдалось в период от 3-х листьев до колошения и составило 0,20 мг/л (14 %).

Обращает на себя внимание то, что наибольшие показатели степени подвижности как на поле 1 (1,34 мг/л – фаза 5–6 листьев у кукурузы), так и на поле 2 (1,48 мг/л – фаза трех листьев у яровой пшеницы) были отмечены в условиях, когда происходило снижение влажности почвы на 6,1–6,9 %, но при этом она оставалась в пределах оптимального диапазона.

Таким образом, наибольшие значения степени подвижности фосфатов установлены в условиях оптимальной влажности почвы – 70–100 % НВ (17,5–25,0 % для исследуемой почвы). При этом при снижении влажности со 100 до 70 % НВ степень подвижности фосфатов увеличивается, при снижении влажности почвы ниже 70 % НВ – уменьшается.

Статистический анализ полученных нами данных показывает, что вариабельность степени подвижности фосфатов во времени (от посева до уборки) ( $V$  – 3,8–12,4 %), вызванная как изменчивостью гидротермических условий, так и поглощением фосфора возделываемыми культурами сопоставима с вариабельностью показателя, обусловленной системой удобрения, рассчитанной в отдельные фазы роста и развития исследуемых культур ( $V$  – 2,4–16,1 %). Можно отметить, что наименьшая вариабельность, обусловленная как фактором время ( $V$  – 3,8 %), так и системой удобрения ( $V$  – 2,4–6,3 %) отмечена в посевах кукурузы на поле 2. Наибольшие колебания показателя установлены в посевах яровой пшеницы на поле 1, коэффициент вариации составил соответственно 12,4 и 9,9–16,1 %.

## ВЫВОДЫ

В дерново-подзолистой легкосуглинистой высококультуренной почве на динамику степени подвижности фосфатов в равной степени оказывают влияние как удобрения ( $V$  – 2,4–16,1 %), так и гидротермические условия ( $V$  – 3,8–12,4 %).

Применение минеральных фосфорных удобрений (70 кг д. в./га) в системе НРК повышало степень подвижности фосфатов в начальные периоды роста



исследуемых культур (5–6 – 8–10 листьев у кукурузы и 3 листа – 1-й узел у яровой пшеницы) на 0,14–0,31 мг/л раствора или на 10–28 % по отношению к моноазотной системе удобрения.

Внесение 204 кг/га фосфора с органическими удобрениями в варианте навоз КРС + N способствовало повышению степени подвижности фосфатов в почве на 0,23–0,45 мг/л раствора или 26–42 %, по отношению к варианту N и отмечалось как в год действия, так и в первый год последействия.

Установлено влияние условий увлажнения на изменения показателя степени подвижности фосфатов. Наибольшая концентрация фосфатов, извлекаемых солевой вытяжкой, отмечалась в условиях оптимальной влажности почвы – 70–100 % НВ (17,5–25,0 % для исследуемой почвы). При снижении влажности со 100 до 70 % НВ степень подвижности фосфатов увеличивалась, при снижении влажности почвы ниже 70 % НВ – уменьшалась.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод Карпинского и Замятиной. Все об агрохимии [сайт]. – URL: <http://agrohimija24.ru/agrohimicheskie-metody/1765-metod-karpinskogo-i-zamyatinoy.html>. (дата обращения: 27.11.2024).
2. Паукштис, С. И. Фосфатный режим дерново-подзолистых почв под влиянием слаборастворимых фосфорных удобрений и кремния // Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов. – URL: [www.dissercat.com/content/fosfatnyi-rezhim-derново-podzolistykh-pochv-pniem-slaborastvorimyykh-fosfornykh-udobr](http://www.dissercat.com/content/fosfatnyi-rezhim-derново-podzolistykh-pochv-pniem-slaborastvorimyykh-fosfornykh-udobr) (дата обращения: 26.09.2024)
3. Андрианов, С. Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений / С. Н. Андрианов. – М. : ВНИИА, 2004. – 296 с.
4. Барашенко, В. В. Формирование оптимального фосфатного режима дерново-подзолистых суглинистых почв: дис. ... канд. с/х наук : 06.01.04 / Барашенко Виктор Васильевич ; НИИПА. – Минск, 1989. – 240 л.
5. Вильдфлуш, И. Р. Фосфор в почвах и земледелии Беларуси / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, В. В. Лапа. – Минск : Хата, 1999. – 196 с.
6. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – М. : РАН, 2019. – 328 с.
7. Минеев, В. Г. Географические закономерности действия удобрений на урожай озимых хлебов / В. Г. Минеев, М. М. Ивлев // Географические закономерности действия удобрений : сб. ; под ред. В. Д. Панникова, В. Г. Минеева. – М. : Колос, 1975. – С. 3–55.
8. Карпинский, Н. П. Изменение степени подвижности почвенных фосфатов в длительных микрополевых опытах при внесении фосфорных удобрений / Н. П. Карпинский, Н. М. Глазунова // Агрохимия. – 1993. – № 9. – С. 3–13.
10. Куприченко, М. Т. Сезонная динамика химических и агрохимических свойств био- и агрочернозема. / М. Т. Куприченко // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №7. – С. 67–68.
11. Пивоварова, Е. Г. Сезонная динамика содержания подвижных питательных веществ и математическое обоснование сроков агрохимического обследования почв / Е. Г. Пивоварова, Е. М. Соврикова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2005. – № 4 (20). – С. 11–16.

12. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
13. Адерихин, П. Г. Поглощение фосфатов почвами при различной влажности / П. Г. Адерихин, Г. С. Волкова // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1967. – № 3. – С. 129–131.
14. Туренков, Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – Минск : Наука и техника, 1980. – 216 с.
15. Романова, Е. Н. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства / Е. Н. Романова, Г. И. Мосолова, И. А. Береснева. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 245 с.
16. Марчик, Т. П. Водные свойства и водный режим почв / Т. П. Марчик, А. Л. Ефремов // Почвоведение с основами растениеводства. – URL: [https://ebooks.grsu.by/pochva\\_s\\_osn\\_rast/glava-7-vodnye-svoystva-i-vodnyj-rezhim-pochv.htm](https://ebooks.grsu.by/pochva_s_osn_rast/glava-7-vodnye-svoystva-i-vodnyj-rezhim-pochv.htm) (дата обращения: 25.04.2025).
17. Венцкевич, Г. З. Сельскохозяйственная метеорология / Г. З. Венцкевич. – Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1952. – 324 с.
18. Оптимальное увлажнение почвы и допустимые колебания влажности при поливе // Сад и огород [сайт]. – URL: <http://farmer-garden.ru/sovety6.html> (дата обращения 26.03.2025).
19. Почвенная влага и минеральное питание растений // Главагроном. – URL: <https://glavagronom.ru/articles/pochvennaya-vlaga-i-mineralnoe-pitanie-rasteniy> (дата обращения 26.03.2025).
20. Гуминовые удобрения // Мегалекции. – URL: <https://megalektsii.ru/s19619t10.html> (дата обращения: 12.02.2025).
21. Полиенко, Е. А. Экологическая оценка влияния гуминовых препаратов на состояние почв и растений : дис. ... канд. биологических наук : 03.02.08 / Полиенко Елена Александровна ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону, 2016. – 152 л.
22. Хмелинин, И. Н. Фосфор в подзолистых почвах и процессы трансформации его соединений / И. Н. Хмелинин. – Л. : Наука, 1984. – 151 с.
23. Карпинский, Н. П. Подвижный фосфор и использование его растениями / Н. П. Карпинский, В. Б. Замятина, Н. М. Глазунова // Доклады советских почвоведов к VII Международному конгрессу в США. – М. : Изд. АН СССР, 1960. – С. 262–266.
24. Барсукова, Л. И. Роль мороза в годовом цикле структурного состояния почвы / Л. И. Барсукова, З. И. Бахарева // Почвоведение. – 1950. – №1. – С. 21–31
25. Дадыкин, В. П. Температура почвы как один из факторов, определяющий эффективность удобрений / В. П. Дадыкин // Почвоведение. – 1951. – № 9. – С. 537–561.
26. Соколов, А. В. Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений // Почвоведение. – 1958. – № 2. – С. 1–8.
27. Аверкина, С. С. Методы определения подвижных фосфатов на чернозёмах Сибири / С. С. Аверкина. – Новосибирск. : Lap Lambert Akademik Publishing, 2012. – 116 с.
28. Лебединцев, А. М. Высыхание почвы как природный фактор образования ее плодородия / А. М. Лебединцев // Избранные труды. – М. : Сельхозиздат, 1960. – С. 205–264.
29. Красницкий, В. М. Влияние гидротермических факторов на подвижность

фосфора в черноземных почвах / В. М. Красницкий, О. Т. Ермолаев // Плодородие. – 2012. – № 3. – С. 19–22.

30. Возбудская, А. Е. Химия почв / А. Е. Возбудская. – М. : Высшая школа, 1968. – 428 с.

31. Елешев, Р. Е. Формы фосфатов в орошаемых почвах юго-восточного Казахстана и приемы рационального использования фосфорных удобрений : дис. ... д-ра с/х. наук : 06.01.04 / Елешев Рахимжан Елешевич ; с/х академия им. К. А. Тимирязева. – М, 1984. – 310 л.

## **SEASONAL DYNAMICS OF THE DEGREE OF PHOSPHATE MOBILITY IN SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY HIGHLY CULTIVATED SOIL**

**O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, A. A. Gracheva, S. M. Zenkova**

### **Summary**

The article presents the results of a study of the seasonal dynamics of the degree of phosphate mobility in corn and spring wheat crops on sod-podzolic light loamy highly cultivated soil. The effect of fertilizers and hydrothermal conditions on the change in this indicator during the growing season was established. The use of mineral phosphorus fertilizers increased the degree of phosphate mobility in the initial periods of growth of the studied crops by 0,14–0,31 mg/l of solution or by 10–28 %. The application of cattle manure increased the indicator by 0,23–0,45 mg/l of solution or 26–42 % in the year of action and in the first year of after-effect.

The effect of moisture conditions on changes in the indicator of the degree of phosphate mobility was established. The highest concentration of phosphates extracted by salt extract was noted under conditions of optimal soil moisture – 70–100 % of the lowest moisture capacity. With a decrease in moisture from 100 to 70 % of the lowest moisture capacity, the degree of phosphate mobility increased, and with a decrease in soil moisture below 70 % of the lowest moisture capacity, it decreased.

*Поступила 12.05.25*