

## ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКООБЕСПЕЧЕННОЙ ФОСФАТАМИ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, О. В. Симанков

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

### ВВЕДЕНИЕ

Формирование урожая протекает под совокупным влиянием широкого спектра внешних факторов: климатических (водного, температурного и воздушного режимов), почвенных (агрохимических, биологических и физических), агротехнических. Каждый из них оказывает определенное непосредственное или косвенное действие на продуктивность посевов. Мощным регулируемым и требующим изучения фактором в создании высокого и устойчивого урожая, является минеральное питание растений в отдельные фазы их роста и развития.

Интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур опираются на биологические особенности растений, учитывают требования растений к условиям среды, которые изменяются по фазам развития и этапам органогенеза, удовлетворяют их, что позволяет управлять процессом формирования урожая и качества продукции, программировать урожай. Чтобы обеспечить оптимальные условия питания для формирования высокой урожайности растений, необходимо вначале установить их потребность в питательных веществах с учетом выноса на единицу продукции и интенсивности поглощения в критические периоды их потребления [1].

Исключительно важную роль в питании растений играет фосфор. Большинство процессов обмена веществ осуществляется только при его участии. Он практически всегда находится во втором минимуме после азота. Создание в корнеобитаемом слое почвы достаточного запаса минерального фосфора, особенно доступных его форм, обеспечивает высокую продуктивность культурных растений.

При этом фактический материал по определению оптимальных параметров содержания доступных (подвижных) фосфатов в почве достаточно противоречив. Одни исследования свидетельствуют о снижении продуктивности и росте непродуцируемых затрат основных элементов питания при содержании фосфатов в почве 300–400 мг/кг и выше [2–4], по другим данным негативные последствия наблюдаются уже при содержании подвижных фосфатов выше 200 мг/кг почвы [5]. В то же время, в годы с неблагоприятными погодными условиями в начальный период роста эффект от внесения фосфорных удобрений наблюдался на почве с содержанием подвижного фосфора 700–800 мг/кг [6]. А в исследованиях [7] не установлено угнетающего действия на рост и развитие испытываемых культур (ячмень, кукуруза, рапс) концентрации фосфора в почве до 2200 мг/кг почвы.

Цель данной работы – изучение особенностей динамики доступных фосфатов в почве с очень высокими запасами данного элемента, особенностей поступления фосфора в растения яровой пшеницы по основным фазам роста и развития.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования с яровой пшеницей сорт Сударыня проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя перед посевом:  $pH_{KCl}$  – 5,9–6,1, содержание гумуса – 2,3–2,6 %, подвижные соединения фосфора – поле 1 (2018 г.) – 699 мг/кг почвы, поле 2 (2019 г.) – 708 мг/кг, поле 3 (2020 г.) – 573 мг/кг почвы, калия – 277, 253 и 187 мг/кг почвы соответственно.

Предшественник яровой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зеленую массу и поукосно – редька масличная.

Удобрения – мочевина, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий вносили под предпосевную обработку почвы согласно схеме опыта (табл. 2).

Агротехника возделывания яровой пшеницы – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную систему защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней.

Опыт заложен в 4-кратном повторении, общая площадь делянки – 24 м<sup>2</sup>.

В течение вегетации растений яровой пшеницы в фазы 1-го узла, флаг-листа, колошения, молочной спелости и созревания осуществлялся мониторинг за биометрическими показателями. В эти же фазы и перед посевом яровой пшеницы до внесения удобрений, осуществлялся отбор почвенных образцов.

Доступные минеральные соединения фосфора в почве определяли путем экстрагирования из почвы 0,2 М раствором уксусной кислоты при отношении почвы к экстрагенту 1:20, времени взаимодействия – 18–20 часов и последующим фотокolorиметрическим определением фосфора [8].

Минеральные соединения фосфора ( $P_2O_5$ ) в сырой растительной массе также экстрагировали 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растений и экстрагирующего раствора 1:20 и времени взаимодействия – 18–20 часов, определение фотометрическое [9].

Содержание общего фосфора в растительных образцах определяли фотокolorиметрически после мокрого озоления по методу ЦИНАО ванадомолибдатным методом (ГОСТ 26657-85).

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [10] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Метеорологические условия в годы исследований значительно различались (табл. 1). Условия 2018 г. в период от посева и до наступления фазы флаг-листа у яровой пшеницы характеризовались повышенными температурами воздуха (15,8–17,8 °С), сопровождавшимися значительным недостатком влаги. В этот период, продолжавшийся 47 дней, выпало всего 21,1 мм осадков (22 % от нормы), а продуктивные запасы влаги в 50 см слое почвы снизились со 120,5 до 5,8 мм. В дальнейшем температурный режим оставался благоприятным, условия увлаж-

нения улучшились, но дефицит запасов влаги в почве отмечался практически до фазы молочной спелости яровой пшеницы.

Таблица 1

**Гидротермические условия по периодам вегетации яровой пшеницы, 2018–2020 гг.**

Показатели	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Средние t за период, °С (среднее мно- голетнее)	2018	15,8 (11,9)	17,8 (15,1)	18,3 (16,3)	17,1 (17,6)	21,2 (18,7)
	2019	11,4 (11,0)	18,8 (15,4)	22,8 (16,2)	19,4 (17,2)	16,4 (18,6)
	2020	8,2 (10,7)	16,4 (15,5)	21,0 (16,8)	20,1 (17,7)	17,1 (18,7)
Сумма осадков, мм (среднее мно- голетнее)	2018	19,1 (47)	2,0 (51)	17,7 (30)	192,1 (64)	11,0 (63)
	2019	51,6 (77)	14,8 (34)	8,1 (21)	36,4 (46)	63,0 (80)
	2020	53,3 (82)	90,7 (57)	19,9 (27)	66,6 (45)	35,4 (71)
Запасы продук- тивной влаги в почве (слой 0–20 см) на начало/конец периода, мм	2018	48,8/20,9	20,9/0	0/6,7	6,7/24,9	24,9/18,3
	2019	11,1/11,9	11,9/9,2	9,2/12,5	12,5/5,4	5,4/21,2
	2020	8,6/15,9	15,9/40,1	40,1/27,3	27,3/33,3	33,3/21,8
Запасы продук- тивной влаги в почве (слой 0–50 см) на начало/конец периода, мм	2018	120,5/63,6	63,6/5,8	5,8/14,9	14,9/53,1	53,1/63,6
	2019	73,3/61,8	61,8/51,9	51,9/91,9	91,9/42,8	42,8/79,0
	2020	75,3/83,0	83,0/123,4	123,4/92,0	92,0/107,1	107,1/62,6
Длительность межфазного периода, дн.	2018	27	20	10	31	18
	2019	46	14	7	17	27
	2020	46	21	9	14	27

2019 г. характеризовался недобором влаги на протяжении всего периода вегетации яровой пшеницы. При этом наиболее засушливые условия отмечались в критический период по отношению к влаге у яровой пшеницы (1-й узел – колошение), когда выпало 22,9 мм осадков (42 % от нормы), при повышенных температурах воздуха (18,8–22,8 °С).

В 2020 г. наиболее неблагоприятные условия складывались от посева до первого узла, когда наблюдался дефицит влаги (осадки составили 65 % от нормы) и тепла (среднесуточные температуры ниже многолетнего показателя на 2,5 °С). В период от флаг-листа до молочной спелости установился повышенный температурный фон (средние температуры выше нормы на 2,4–6,6 °С). Количество осадков значительно превышало норму в периоды 1-й узел – флаг-лист, колошение – молочная спелость.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главным источником фосфорного питания растений являются минеральные соединения фосфора в почве, а именно доступные его формы [11].

Содержание доступных минеральных фосфатов, определяемых в 0,2 М уксусной кислоте, перед посевом яровой пшеницы в зависимости от года исследования (поля) изменялось в пределах от 67 до 106 мг/кг (рис. 1), что составило 12–15 % от подвижных форм, извлекаемых 0,2 М соляной кислотой.

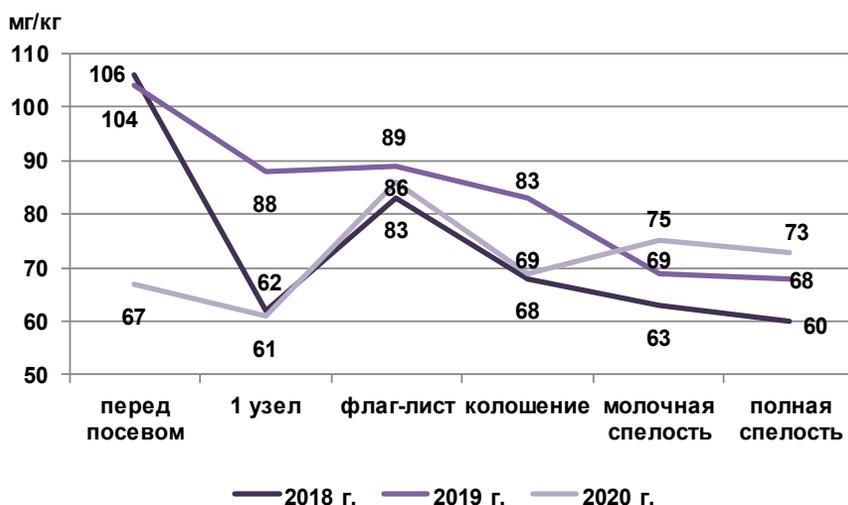


Рис. 1. Динамика содержания доступных фосфатов в почве (мг/кг) в среднем по опыту при возделывании яровой пшеницы по годам исследования

Динамика содержания фосфатов в течении вегетации может быть обусловлена как поглощением элемента растениями, так и гидротермическими условиями. Абсолютное накопление фосфора в растениях возрастает от появления всходов к созреванию, соответствующего плавного снижения содержания доступных фосфатов в почве на протяжении этого периода не прослеживалось. Но в то же время, в 2018 и 2019 гг. установлено достоверно более низкое на 36–46 мг/кг почвы ( $\text{HCP}_{05} - 9$ ) (35–43 %) содержание доступных фосфатов в момент уборки яровой пшеницы по отношению к их количеству перед посевом культуры. В 2020 г. данная закономерность не отмечалась, к уборке показатель повысился даже незначительно – на 5 мг/кг почвы. Этот факт, как и значительные колебания содержания доступных фосфатов в течении вегетационного периода яровой пшеницы в 2018 и 2019 гг. можно объяснить влиянием погодных условий на трансформацию фосфатов в почве.

Общеизвестным является повышение доступности (подвижности) фосфатов при повышении уровня увлажнения почвы. В опыте из гидротермических показателей наиболее тесная криволинейная корреляционная связь ( $R^2 0,36$ ) содержания доступных фосфатов в почве обнаружена с запасами продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы.

2018 г. характеризовался наибольшими колебаниями запасов влаги от 48,8 мм перед посевом до 0 мм в фазу флаг-листа (рис. 2). При этом снижение

влагообеспеченности на 57 % (до 20,9 мм) к фазе первого узла сопровождалось снижением количества доступных фосфатов на 42 %, или 44 мг/кг почвы. Дальнейшее иссушение почвы продолжавшееся до фазы флаг-листа, когда запасы продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы иссякли (0 мм), отмечалось значительное повышение содержания доступных фосфатов на 21 мг/кг почвы, или 34 % по отношению к предыдущей фазе. На увеличение подвижности фосфатов при высушивании почвы указывал еще А. Н. Лебедев [12]. В целом зависимость содержания доступных фосфатов от запасов влаги в этом году была близка к функциональной криволинейной ( $R^2 0,99$ ).

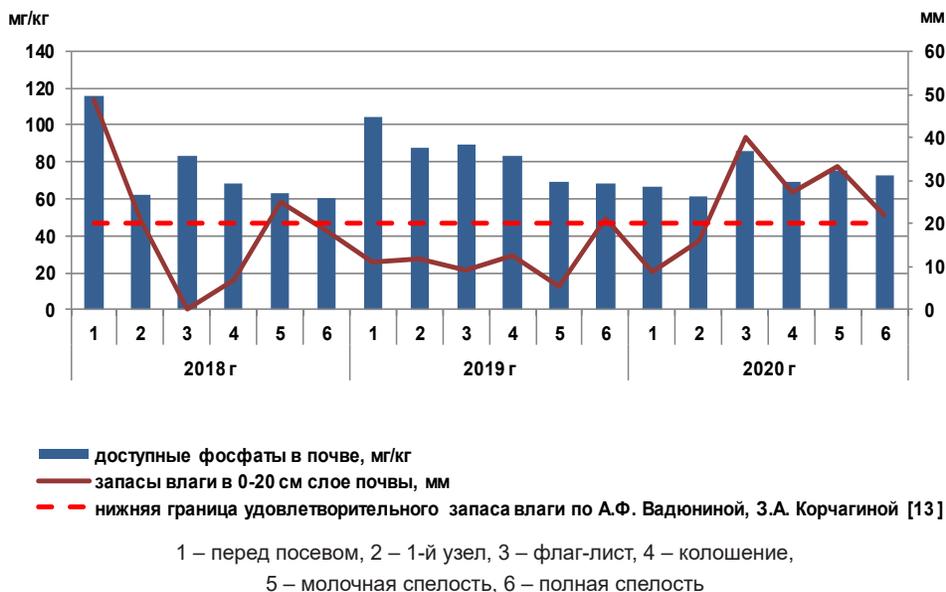


Рис. 2. Динамика содержания доступных фосфатов (в среднем по опыту и запасов влаги в почве по основным фазам развития яровой пшеницы

В 2019 г. при наименьшем варьировании показателя запасов влаги в 20-сантиметровом слое почвы не замечено и таких резких изменений в содержании доступных фосфатов, которые наблюдались в другие годы исследования. Можно предположить, что график динамики доступных форм фосфора в этом году в наибольшей степени отражает изменения, связанные с поглощением элемента растениями яровой пшеницы, косвенным подтверждением чего может быть наименее сильная, среди годов исследования, связь показателя с влагообеспеченностью ( $R^2 0,70$ ).

Перед посевом обеспеченность доступным (67 мг/кг), как и подвижным (573 мг/кг) фосфором поля 3, где в 2020 г. возделывалась пшеница, была значительно ниже, чем двух других полей в данный период. В период от посева до 1-го узла влагозапасы в слое 0–20 см почвы хоть и повысились с 8,6 до 15,9 мм, но были ниже удовлетворительного уровня (менее 20 мм) [13] и вместе с холодными условиями не способствовали повышению содержания доступных фосфатов. В период от флаг-листа и до уборки запасы продуктивной влаги в 20-сантиметровом слое почвы оценивались как удовлетворительные (20–

40 мм). Так, в период 1-й узел – флаг-лист обильные осадки, способствовавшие повышению запасов влаги в почве в 2,5 раза до 40,1 мм, привели к существенному повышению содержания доступных фосфатов на 19 мг/кг почвы. Значительное изменение условий увлажнения к колошению (снижение запасов влаги на 12,8 мм, или 32 %) привело к уменьшению количества доступных фосфатов на 17 мг/кг, или 20 %. Значение коэффициента детерминации для исследуемых величин в 2020 г. составило 0,84.

Важным фактором, влияющим на фосфатное состояние почвы является внесение соответствующих удобрений. Вероятно, в силу того, что фосфорные удобрения в опыте применяли в небольшой дозе ( $P_{30}$ ) существенных различий в содержании доступных фосфатов по вариантам во все анализируемые фазы роста и развития растений яровой пшеницы не прослеживалось (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика содержания доступных соединений фосфора в почве  
в зависимости от систем удобрения, среднее за 2018–2020 гг., мг/кг**

Вариант	Перед посевом	1-й узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость	Полная спелость
Без удобрений	92	68	88	70	67	67
$P_{30}K_{90}$	88	70	88	73	67	65
$N_{90-120}P_{30}K_{90}$	97	72	83	77	73	70
$HCP_{05}$	$F_{\phi} < F_{05}$					

Также не было выявлено, часто отмечаемого [4, 11], действия физиологически кислых азотных удобрений на мобилизацию почвенных запасов фосфора.

Наблюдения за минеральным питанием растений свидетельствуют о том, что в условиях когда доставка ионов растению не лимитирована, скорость их поглощения строго регулируется потребностями растения [14]. В представленном опыте, судя по содержанию подвижных фосфатов (573–708 мг/кг), концентрации фосфора в почвенном растворе очень высокая. Отсутствие существенной корреляционной зависимости между содержанием доступных фосфатов в почве и фосфора в растениях также может свидетельствовать о том, что почвенные запасы элемента не лимитируют его поступление в растения. Поэтому, можно предположить, что изменения в содержании фосфора в растениях обусловлены, в первую очередь, метеорологическими условиями, влияющими на способность растений к поглощению.

Фосфор в растениях содержится в минеральных и органических веществах. Поступивший в растения минеральный фосфор очень быстро переходит в состав органических соединений. В целом, 85–95 % фосфора в растениях находится в органической форме. Минеральных фосфатов – фосфатов кальция, калия, магния и аммония – значительно меньше (5–15 %), но они имеют большое значение, являясь запасной и транспортной формами фосфора [15].

В то время как содержание фосфора в зерне (семенах) довольно стабильно и мало зависит от дозы фосфорных удобрений и уровня содержания фосфатов в почве, химический состав растущего, развивающегося растения может значительно изменяться в зависимости от внешних условий [16, 17].

По данным [18] оптимальное содержание общего (валового) фосфора в растениях яровой пшеницы от фазы кущения до цветения находится в пределах 0,34–0,49 %. В представленном опыте концентрация общего фосфора за три года исследований от 1-го узла до молочной спелости составила 0,50–0,99 % (рис. 3), что согласуется с данными [11], свидетельствующими об усилении поступления фосфора в растения при увеличении содержания доступных форм элемента в почве.

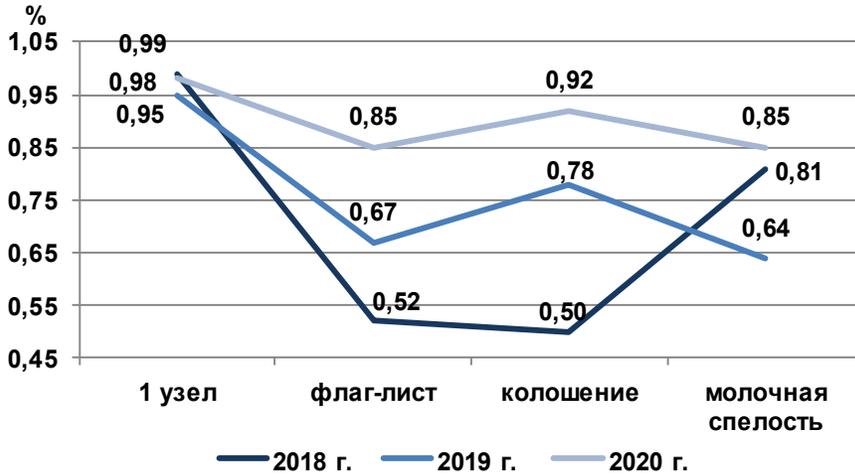


Рис. 3. Динамика содержания общего фосфора в растениях (в среднем по опыту) по основным фазам развития яровой пшеницы, % на сухое вещество

Количество минерального фосфора в растениях яровой пшеницы в годы проведения исследований изменялось в пределах от 0,06 до 0,28 %, и составляло 9–56 % от общего фосфора (рис. 4).

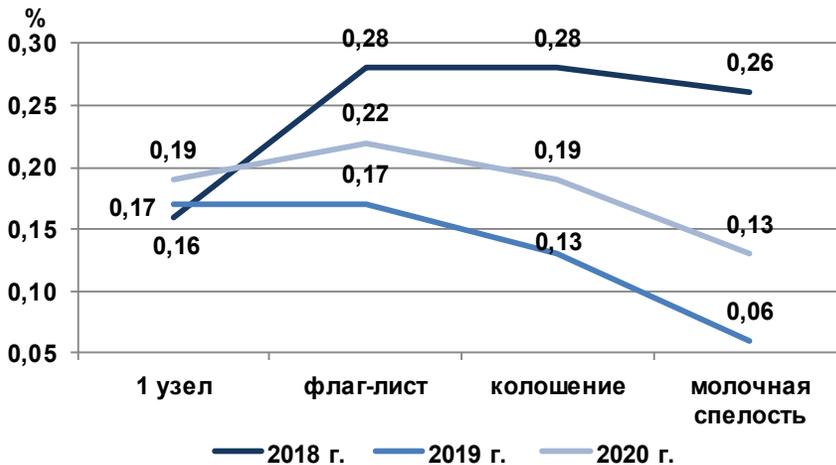


Рис. 4. Динамика содержания минерального фосфора в растениях (в среднем по опыту) по основным фазам развития яровой пшеницы, % на сухое вещество

Критический период по отношению к фосфору у всех культур отмечается в фазу всходов, особенно чувствительны к недостатку фосфора растения в первые 10–15 дней. Недостаток данного элемента в этот период резко снижает урожайность, независимо от дальнейшей обеспеченности растений [15].

Концентрация общего фосфора в растениях в фазе 1-го узла в опыте на уровне 0,95–0,98 % свидетельствует о высокой обеспеченности растений этим элементом. Даже низкие средние температуры воздуха в период от посева до 1-го узла (8,2 °С), наблюдавшиеся в 2020 г., не оказали заметного влияния на данный показатель, хотя, общеизвестно, что поступление фосфора в растения при температуре ниже 10 °С значительно замедляется. Возможно, это можно объяснить тем, что с повышением концентрации раствора поглощение элементов питания растениями в меньшей степени зависит от температуры [11].

Содержание минерального фосфора в начальный период вегетации составляло 0,16–0,19 %.

Общей закономерностью в относительном содержании фосфора в растениях является постепенное его снижение с возрастом, поскольку накопление массы органических веществ идет более быстрыми темпами, чем поглощение фосфора [19].

В проведенном опыте при снижении количества общего фосфора к молочной спелости на 0,14–0,33 % по отношению к содержанию в фазе первого узла, отмечаются значительные колебания по фазам развития.

Содержание минерального фосфора в растениях в 2019 и 2020 гг. также снижалось к молочной спелости, в то время как в 2018 г., характеризовавшемся экстремальными погодными условиями ход изменений был не совсем типичным.

Несомненно то, что значительные колебания содержания фосфора по годам и фенологическим фазам обусловлены условиями произрастания. Если содержание доступных соединений фосфора в почве в большей степени коррелирует с запасами продуктивной влаги в 20-сантиметровом слое почвы, с которого осуществлялся отбор почвенных проб, то содержание фосфора в растениях значительно сильнее коррелирует с содержанием влаги в 50 см слое почвы (рис. 5). Вероятно, в силу того, что растения усваивают элементы питания не только с 20-сантиметровой толщи.

Согласно трехлетним данным содержание общего фосфора в растениях на протяжении вегетации имеет тесную криволинейную связь с запасами влаги в слое 0–50 см почвы –  $R^2$  0,72, содержание минерального фосфора также имело достоверную, но менее сильную связь с этим показателем –  $R^2$  0,37.

Ухудшение условий влагообеспеченности приводило, как правило, к снижению содержания фосфора в растениях. Так в 2018 г. в экстремально засушливых условиях, наблюдавшихся в фазы флаг-листа и колошения, когда запасы влаги не превышали 15 мм, установлено существенное снижение количества фосфора в растениях до 0,50–0,52 %, что в 1,6–1,8 раза ниже, чем в 2020 г., когда условия были наиболее близкими к оптимальным. В 2019 г. снижение запасов влаги не достигало таких критических отметок, как в 2018 г. и соответственно изменения в содержании фосфора в растениях были в менее широком диапазоне, но при этом повторяли график динамики влагообеспеченности почвы.

В 2020 г., когда запасы влаги в 50-сантиметровом слое почвы в анализируемые фенологические фазы не опускались ниже 80 мм, содержание фосфора в растениях пшеницы (0,85–0,99 %) было наиболее высоким по сравнению с други-

ми годами исследования. В то же время обращает на себя внимание снижение содержания общего фосфора в фазу флаг-листа до 0,85 %, или на 0,14 % по сравнению с предыдущей фазой, обусловленное, по-видимому, переувлажнением почвы – запасы влаги составляли в данный период 123,4 мм. В фазе молочной спелости, когда уровень увлажнения вновь повысился (запасы влаги составили 107 мм) также наблюдалось снижение количества фосфора в растениях, но в данном случае это может быть обусловлено как повышенной влажностью, так и естественными процессами, вызванными старением растений.



1 – 1-й узел, 2 – флаг-лист, 3 – колошение, 4 – молочная спелость

Рис. 5. Динамика содержания минерального и общего фосфора в растениях (в среднем по опыту) и запасов влаги в слое 0–50 см почвы по основным фазам развития яровой пшеницы

Динамика содержания минерального фосфора отличалась от характерной для его валовых форм. Можно отметить выраженное повышение содержания минеральных соединений фосфора в растениях в неблагоприятных условиях, когда количество общего фосфора снижалось. Так наибольшее содержание данной формы элемента отмечалось в 2018 г. в фазы флаг-лист – колошение – 0,28 %, что составляло 54–56 % от общего фосфора. В 2019 и 2020 гг. график динамики показателя был более плавным с некоторым повышением величины в фазу флаг-листа, когда условия были наименее благоприятными. Повышение содержания минерального фосфора в аномально засушливых условиях может быть связано с тем, что в растениях приостанавливаются процессы синтеза и усиливается распад сложных органических соединений, нарушаются процессы фосфорилирования [20].

Таким образом, высокое содержание минеральных форм фосфора может говорить о высокой обеспеченности растений данным элементом только при условии, что растения развиваются в благоприятных погодных условиях, в противном случае это может свидетельствовать о торможении ростовых процессов и синтеза органического вещества.

Если применение удобрений не оказало существенного влияния на запасы фосфора в почве, то в отношении содержания в растениях обнаружено существенное влияние азотных удобрений на данный показатель. Согласно данным [21], при достаточной обеспеченности почвы фосфором, повышенные дозы азотных удобрений способствуют лучшему поступлению элемента в растения.

Внесение 90–120 кг/га д. в азота в среднем за три года способствовало увеличению содержания общего фосфора в фазу 1-го узла на 0,08 % по сравнению с вариантом, где вносили только фосфорные и калийные удобрения, также достоверное превышение количества фосфора в данном варианте установлено и в фазе молочной спелости (табл. 3). В фазы флага-листа и колошения, когда в отдельные годы наблюдались неблагоприятные условия действие азотных удобрений сглаживалось.

Таблица 3

**Влияние систем удобрения на содержание фосфора (% на сухое вещество) в растениях яровой пшеницы, среднее за три года**

Вариант	Минеральный фосфор				Общий фосфор			
	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость
Без удобрений	0,16	0,20	0,19	0,15	0,92	0,67	0,68	0,72
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	0,17	0,24	0,19	0,15	0,96	0,68	0,73	0,75
N <sub>90-120</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	0,18	0,24	0,21	0,15	1,04	0,69	0,80	0,83
HCP <sub>05</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	0,02	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	0,07	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	0,05

Для минерального фосфора отмечено существенное влияние удобрений (P<sub>30</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>90-120</sub>P<sub>30</sub>K<sub>90</sub>) на эту величину только в фазу флага-листа, когда условия увлажнения во все годы исследования отклонялись от нормы.

Основным критерием оценки фосфорного питания является конечная продуктивность яровой пшеницы.

Необходимо отметить, что корреляционной связи между диагностированными в опыте запасами доступного фосфора в почве и урожайностью пшеницы не установлено. Так, например, в 2020 г. (поле 3) в начальный период роста, когда растения предъявляют наибольшие требования к фосфорному питанию, содержание доступных фосфатов в среднем по опыту составляло 67 мг/кг почвы, что практически в 2 раза ниже, чем в другие годы исследования, но в итоге в этом году была получена самая высокая урожайность зерна – 55,4–60,5 ц/га (табл. 4).

Таблица 4

**Урожайность зерна яровой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой высокообеспеченной фосфатами почве**

Вариант	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Среднее
Без удобрений	33,8	43,3	55,4	44,2
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	36,0	43,7	58,1	45,9
N <sub>90-120</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	44,5	58,0	60,5	54,3
HCP <sub>05</sub>	5,2	9,3	F <sub>ф</sub> <F <sub>05</sub>	3,6

Не отмечено также достоверного влияния фосфорных удобрений (при совместном внесении с калийными) на рост продуктивности посевов яровой пшеницы.

Таким образом, урожайность культуры в значительной степени определялась азотными удобрениями и гидротермическими условиями. Коэффициент вариации урожайности по годам составил от 15,8 % в варианте  $N_{90-120}P_{30}K_{90}$  до 24,5 % в варианте без удобрений. Изменения данного показателя в зависимости от системы удобрения в 2020 г. составили 4,4 %, в 2019 г. – 17,3 %.

Между содержанием общего фосфора в растениях в фазы флаг-лист, колошение и урожайностью установлена тесная криволинейная связь ( $R^2$  0,70 и 0,87 соответственно). Но необходимо отметить, что как содержание фосфора в растениях, так в конечном итоге и продуктивность обусловлены одним и тем же фактором – уровнем влагообеспеченности.

## ВЫВОДЫ

Изучение динамики доступных (определяемых в 0,2 М уксуснокислой вытяжке) фосфатов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами данного элемента показало, что содержание отмеченных соединений фосфора в течение вегетации яровой пшеницы в пределах 60–106 мг/кг почвы не является лимитирующим фактором для формирования урожая культуры на уровне 55–60 ц/га.

Содержание валового фосфора в вегетирующих растениях яровой пшеницы (1-й узел – молочная спелость) 0,50–0,99 % свидетельствует о способности данной почвы удовлетворять растения в элементе на высоком уровне.

Основным фактором, определяющим доступность почвенных фосфатов, накопление фосфора в растениях и продуктивность зерна, являлась влагообеспеченность. Наиболее тесная криволинейная корреляционная связь ( $R^2$  0,36) содержания доступных фосфатов в почве обнаружена с запасами продуктивной влаги в 0–20 см слое почвы, концентрация общего и минерального фосфора в растениях имела достоверную криволинейную зависимость с запасами влаги в слое 0–50 см почвы –  $R^2$  0,72 и 0,37 соответственно.

Внесение минеральных удобрений ( $P_{30}K_{90}$  и  $N_{90-120}P_{30}K_{90}$ ) не оказывало влияния на изменение содержания доступных форм фосфора в почве. Концентрация общего фосфора в растениях существенно повышалась при применении 90–120 кг/га д. в. азота в благоприятных условиях произрастания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коледа, К. В. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / К. В. Коледа [и др.]; под общ. ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука. – Гродно: ГГАУ, 2010. – 340 с.

2. Барашенко, В. В. Параметры фосфорного и калийного режима почв, обеспечивающие высокую продуктивность угодий и экологическую безопасность / В. В. Барашенко, Н. Н. Лутович, Г.И. Каленик // Резервы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. научно-практ. конф., Горки, 10–11 апреля 1996 г. / БСХА; редкол.: А. Р. Цыганов [и др.]. – Горки, 1996. – С. 24–26.

3. Лутович, Н. Н. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на урожайность картофеля и эффективность применения фосфорных удобрений /

Н. Н. Лутович // Современные проблемы использования почвенных ресурсов и повышения их производительной способности : Междунар. научно-практ. конф., Горки, 11–15 ноября 1997 г. / БСХА; редкол.: Н. И. Смеян [и др.]. – Горки, 1997. – С. 166–167.

4. *Иванов, И. А.* Применение удобрений на дерново-подзолистых почвах с высокими запасами фосфора и калия / И. А. Иванов, А. И. Иванов, Н. И. Семенова. – Агрохимия. – 1996. – № 4. – С. 9–14.

5. *Сычев, В. Г.* Влияние содержания подвижного фосфора на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность фосфорных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран // Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений / В. Г. Сычев, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – С.76–83.

6. Действие удобрений в зернопропашном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высокими запасами фосфора и калия при различных погодных условиях / О. Г. Кулеш [и др.] // – Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1(62). – С. 109–118.

7. *Титова, В. И.* Оптимизация применения азотных и калийных удобрений на почвах с высоким содержанием фосфора / В. И. Титова // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 1(21). – С. 87–92.

8. Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко, [и др.] – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

9. Методы оперативной диагностики минерального питания зерновых культур / Н. Н. Семененко [и др.] – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

10. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. *Панников, В. Д.* Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.

12. Высушивание и промораживание почвы как фактор повышения естественного плодородия [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studref.com/319370/agropromyshlennost/vysushivanie\\_promorazhivanie\\_pochvy\\_faktor\\_povysheniya\\_estestvennogo\\_plodorodiya](https://studref.com/319370/agropromyshlennost/vysushivanie_promorazhivanie_pochvy_faktor_povysheniya_estestvennogo_plodorodiya). – Дата доступа: 01.03.2022.

13. Почвенно-гидрологические константы. Расчет запасов влаги. Оценка запасов влаги. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6726476/> – Дата доступа: 22.02.2022.

14. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н. Н. Третьяков [и др.]; под ред. Н. Н. Третьякова. – М.: Колос, 1998. – 640 с.

15. Влияние фосфора на жизнь растений [Электронный ресурс] // Агральянс. – Режим доступа: <http://агро-альянс36.рф/stati/item/153-vliyanie-fosfora-na-zhizn-rastenij.html>. – Дата доступа: 15.02.2022.

16. *Болдырев, Н. К.* Использование нормативных показателей в методе листовой диагностики для расчета норм удобрений на запланированный урожай пшеницы / Н. К. Болдырев // Агрохимия. – 1982. – № 2. – С. 105–113.

17. *Сычев, В. Г.* Диагностика минерального питания полевых культур и определение потребности в удобрениях / В. Г. Сычев, С. А. Шафран, Т. М. Духанина. – М.: ВНИИА, 2017. – 220 с.

18. *Церлинг, В. В.* Методические указания по растительной диагностике зерновых культур / В. В. Церлинг, М. А. Горшкова, В. П. Толстоусов. – М.: Колос, 1980. – 30 с.

19. Фосфор в растениях [Электронный ресурс] // Справочник химика 21. – Режим доступа: <https://www.chem21.info/info/711343/> – Дата доступа: 01.03.2022.

20. Влияние на растения недостатка воды [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studopedia.ru/15\\_127090\\_vliyanie-na-rasteniya-nedostatka-vodi.html](https://studopedia.ru/15_127090_vliyanie-na-rasteniya-nedostatka-vodi.html) – Дата доступа: 01.03.2022.

21. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

## PHOSPHORUS NUTRITION OF SPRING WHEAT ON SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY HIGH PHOSPHATE SOILS

O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, O. V. Simankov

### Summary

The results of study of phosphorus nutrition of spring wheat on highly phosphate-supplied soil are presented. The high ability of the soil to satisfy the plants' need for phosphorus has been established. The main factor determining the availability of soil phosphates, phosphorus accumulation in plants and grain productivity was moisture supply. The strongest curvilinear correlation ( $R^2$  0,36) between available phosphate content in soil and water content in soil 0–20 cm layer was observed. Concentration of total and mineral phosphorus in plants had reliable curvilinear relation with water content in soil 0–50 cm layer –  $R^2$  0,72 and 0,37 respectively.

*Поступила 23.03.2022*

УДК 631.8:633.11:631.445

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-85-94](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-85-94)

## АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Т. В. Мачок, О. М. Бирюкова,  
Ю. А. Белявская, М. М. Торчило, Н. Ю. Жабровская

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

### ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница занимает в Республике Беларусь ведущее место среди возделываемых зерновых продовольственных культур и по сравнению с яровой пшеницей гарантирует более высокие и стабильные урожаи. Климатические и почвенные ресурсы, а также сорта озимой пшеницы позволяют возделывать ее во всех областях республики. В структуре озимых зерновых культур пшеница занимает 40 % посевных площадей [1]. Одним из путей получения стабильно