

# ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОДВИЖНОСТЬ ФОСФОРА В ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ

В.М. Красницкий, д.с.-х.н., ЦАС «Омский», О.Т. Ермолаев, д.с.-х.н., ТГСХА

Представлены результаты исследований о влиянии гидротермических факторов, таких как температура и влажность, на подвижность фосфора почвы. Приведены данные об определяющих факторах содержания подвижного фосфора в почве.

Ключевые слова: подвижный фосфор, температура, влажность, гидротермические параметры, инкубирование.

Влияние гидротермических факторов на подвижность фосфора почвы выявить сложно, поскольку состояние фосфора в удобренной почве близко к динамическому равновесию и колебания содержания подвижных его форм могут быть незначительными. Это вызывает противоречивость получаемых данных по динамике содержания подвижного фосфора в почве ввиду различных условий и методик проведения исследований и в общем-то дискуссионности данного вопроса.

Цель исследований - более детально изучить подвижность фосфора в почве под влиянием гидротермических факторов.

**Методика, результаты и их обсуждение.** Полученные результаты исследований показали, что температура инкубации почвы влияет на подвижность фосфора в ней (табл. 1).

Радиометрические исследования проводили по стандартной методике [2].

На количество подвижного фосфора влияла только температура инкубации. Увеличение температуры инкубации почвы с 0 до 25°C приводит к резкому снижению содержания подвижного фосфора. При повышении температуры на 1°C наблюдалось снижение содержания подвижного фосфора при химическом определении примерно на 1,4% и при радиохимическом – на 1,8% с одновременным уменьшением коэффициента вторичного осаждения. Снижение содержания подвижного фосфора при более высокой температуре объясняется увеличением закрепления и энергии связи фосфора с почвой в соответствии с законом Вант-Гоффа [10]. Математическая обработка экспериментальных данных показала высокую связь между содержанием подвижного фосфора и температурой инкубации почвы.

## 1. Влияние условий инкубации почвы на содержание подвижного фосфора

Температура инкубации почвы, °C	Влажность инкубации почвы, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы (по Мачигину)		K <sub>вт</sub>
		определенного химически	определенного радиохимически	
0±1	26	9,8	27,2	2,78
25±1	26	6,7	15,3	2,28
0±1	68	9,7	25,2	2,60
25±1	68	6,1	14,0	2,29

Примечание. K<sub>вт</sub> – коэффициент вторичного осаждения.

Воздействие температурных условий на подвижность фосфора отражает скорость протекания физико-химических процессов; микроорганизмы значительного участия в этих процессах не принимают (табл.2).

## 2. Влияние температуры инкубации на подвижность фосфатов при обработке почвы антибиотиками

Вариант опыта	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы (по Мачигину)	
	3±1°C	25±1°C
Почва (контроль)	6,3±0,33	5,1±0,07
Почва + пенициллин	7,1±0,26	4,2±0,15
Почва + стрептомицин	6,5±0,29	5,0±0,20

В описываемом опыте почва инкубировалась в течение 2 нед при влажности 28% от абсолютно сухой массы при температуре 3±1 и 25±1°C. Для подавления почвенной микрофлоры и обусловленной ею ферментативной активности внесли пенициллин (раствор бензилпенициллина, 1500 ед/г почвы) и стрептомицин, (15 мг/г почвы)[9].

Достоверное снижение подвижности фосфора при повышении температуры инкубации почвы происходит как при обработке почвы пенициллином и стрептомицином, так и без обработки. Это подтверждает вывод о физико-химическом характере процесса снижения содержания подвижного фосфора при повышении температуры инкубации почвы.

Проведенный с применением радиоактивного фосфора <sup>32</sup>P опыт несколько проясняет возможность перехода фосфора из тел микроорганизмов в почвенный раствор, но, к сожалению, также не отвечает в полной мере на поставленный вопрос (табл. 3).

## 3. Влияние высушивания почвы на растворимость фосфора микроорганизмов в вытяжке Мачигина

Вариант опыта	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> микроорганизмов в растворе, % от общего	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы	
		без внесения микроорганизмов	с внесением микроорганизмов
Контроль	12,6	7,2	7,8
Высушивание при:			
	25°C	10,1	11,7
	60°C	13,7	15,6
	100°C	35,8	38,1

В приведенных данных фосфор микроорганизмов переходит в вытяжку Мачигина, и чем выше была температура высушивания почвы, тем больше его переходило. И все же и этот опыт не дает четкого представления о долевом участии фосфора микроорганизмов в создании фонда подвижных фосфатов, ибо внесено было фосфора с микроорганизмами, соответственно последовательности вариантов, 4,76; 6,22; 6,33 и 6,44 мг/кг почвы. Это составляет значительное количество и трудно также определить количество фосфора микроорганизмов в почве в естественных условиях. Исходя из данных опыта, доминирующее значение имеет фосфор почвы, и изменение содержания подвижного фосфора в почве связано с изменением скорости и направленности протекания физико-химических процессов, т. е. фосфор микроорганизмов не иг-

рает определяющего значения в содержании подвижного фосфора в почве.

В естественных условиях гидротермические параметры могут постоянно изменяться. Если условия увлажнения изменяют содержание подвижного фосфора так, как было показано ранее, то представляет определенный интерес влияние температурного режима почвы на подвижность фосфора в ней. В описываемом опыте (табл.4) осуществляли перемену температуры инкубирования почвы во втором 50-дневном периоде. Если почву в первый 50-дневный период инкубировали при температуре 0°C, то во второй 50-дневный период – при 25°C и наоборот. Состав почвенных образцов определяли при влажности инкубирования, т. е. без высушивания перед анализом [1].

Полученные данные свидетельствуют, что определяющим фактором содержания подвижного фосфора является температура инкубирования почвы при определенной влажности её, независимо от начального или конечного периода инкубирования, т.е. перемена температуры инкубирования как с 0 на 25°C, так и с 25 на 0°C показывает в итоге одинаковые результаты.

#### 4. Влияние температурных условий инкубирования почвы на содержание подвижного фосфора, мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/кг почвы

Влажность почвы, %	Перемена с 25 на 0°C			Перемена с 0 до 25°C		
	хим.	K <sub>вт</sub>	с <sup>32</sup> P	хим.	K <sub>вт</sub>	с <sup>32</sup> P
<i>Обыкновенный карбонатный чернозем</i>						
5	15,7	2,53	39,3	16,1	2,41	38,9
10	12,8	2,08	26,5	13,7	1,96	27,7
15	12,9	2,12	27,4	13,5	1,96	26,4
20	12,5	2,12	26,5	12,0	2,21	26,5
30	11,0	2,30	25,3	11,1	2,41	26,8
40	11,5	2,30	26,4	11,8	2,41	28,3
50	11,7	2,65	30,9	11,3	2,65	29,9
60	11,6	4,08	47,3	10,5	4,41	46,5
70	11,6	5,30	61,3	11,5	3,78	43,6
90	11,1	6,62	73,3	11,0	5,89	64,5
<i>Южный карбонатный чернозем</i>						
5	14,8	2,57	38,1	14,9	2,57	38,4
10	13,8	2,46	33,0	13,1	2,37	31,4
15	12,0	2,27	27,1	12,5	2,18	26,9
20	10,9	2,36	25,8	12,0	2,18	25,6
30	11,3	2,27	25,7	10,6	2,46	25,9
40	12,2	2,18	26,5	10,6	2,46	26,1
50	12,3	2,08	25,7	10,7	2,46	26,3
60	9,8	3,10	30,5	9,9	3,10	30,2
70	8,2	4,53	37,1	8,3	4,21	35,0
90	8,4	5,36	45,0	7,8	5,90	45,8
<i>Темно-каштановая карбонатная почва</i>						
5	9,8	2,98	29,2	10,3	2,80	29,0
10	6,6	2,38	15,7	6,9	2,50	17,3
15	7,1	2,08	14,8	6,2	2,38	15,0
20	6,6	2,27	15,0	5,8	2,50	14,5
30	6,3	2,27	14,3	6,2	2,38	14,8
40	6,4	2,27	14,5	5,9	2,50	14,6
50	5,7	3,33	19,1	5,7	2,98	17,1
60	5,3	4,54	23,9	4,2	5,00	21,0
70	5,1	5,55	28,3	4,3	5,55	23,7
90	4,5	6,25	28,0	4,7	5,55	26,1

Таким образом, содержание подвижного фосфора зависит от увлажнения почвы и температурных условий ее состояния и характеризуется практически равным содержанием подвижного фосфора по Мачигину в пределах влажности от 15 до 50-60% в зависимости от гумусированности почвы. Высушивание (или снижение влажности) почвы ниже влажности завядания растений (ниже 15%) повышает содержание подвижного фосфора, а увеличение влажности выше 40-50% приводит к снижению химического и увеличению радиохимического содержания подвижного фосфора под влиянием увеличения площади поверхности почвенных частиц.

На количественное содержание подвижного фосфора в почве влияет метод извлечения фосфора и чем слабее растворитель, тем резче проявляется разница в условиях состояния почвы. Так, проведенное определение концентрации фосфора

в растворе 0,01н. хлорида кальция показало, наряду с малыми цифровыми значениями, и более контрастное его содержание при различной влажности почвы (табл. 5). Концентрация фосфора при влажности почвы 15-30% снижается в 2 раза и более по сравнению с 5%-ной влажностью почвы, а при 60%-ной влажности почвы – в 4-8 раз в зависимости от гумусированности почвы. Чем ниже содержание гумуса в почве, тем резче снижение концентрации фосфора в почвенном растворе. Полученные данные, подвергнутые корреляционному анализу, свидетельствуют, что между содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в вытяжке хлорида кальция и влажностью почвы существует определенная зависимость. Коэффициент корреляции для обыкновенного чернозема равен -0,81, для южного карбонатного чернозема – -0,90 и для темно-каштановой почвы – -0,88.

#### 5. Влияние влажности инкубирования почвы на содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в 0,01н. вытяжке хлорида кальция, мг/кг почвы

Влажность почвы, %	Обыкновенный карбонатный чернозем	Южный карбонатный чернозем	Темно-каштановая почва
5	0,53	0,40	0,25
15	0,25	0,22	0,12
30	0,22	0,17	0,08
60	0,14	0,08	0,03

Следует отметить, что такая же зависимость существует также между содержанием фосфора в вытяжке Мачигина и влажностью инкубирования почвы, и по имеющимся данным коэффициент корреляции для этих почв равен, соответственно, -0,91, -0,91 и -0,92. В то же время нельзя проводить параллель между концентрацией фосфора в почвенном растворе и обеспеченностью растений фосфором, ибо при высокой влажности почвы должно происходить (и по всей вероятности происходит) значительно более быстрое восстановление концентрации его в растворе после поглощения определенной его части растениями. К тому же, чаще всего поглощение фосфора растениями находится в пропорциональной зависимости от расхода воды растениями, который, как известно, прямо связан с влажностью почвы [3,6,8].

Воздействие высушивания почвы и обратимости данного процесса на содержание усвояемых фосфатов и обеспеченность растений фосфором можно проиллюстрировать данными вегетационных опытов (табл. 6).

#### 6. Влияние высушивания почвы южного карбонатного чернозема на запас доступных фосфатов и урожайность зерна яровой пшеницы

Вариант опыта	Урожайность зерна, г/сосуд	Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> растениями, мг/кг почвы	P <sub>запас</sub> , мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /кг почвы
<i>Опыт 1</i>			
Исходная почва	6,4±0,54	12,6	45,8±2,3
Исходная почва + P <sub>60</sub>	13,2±1,41	33,0	97,5±4,8
Высушенная на солнце почва	6,3±0,15	12,9	59,6±2,3
<i>Опыт 2</i>			
Исходная почва	6,7±0,55	16,7	69,8±2,6
Исходная почва + P <sub>60</sub>	11,6±0,71	40,9	124,1±3,0
Высушенная почва: на солнце	6,9±0,72	18,1	84,0±1,4
при 60°C	6,5±0,25	20,0	102,8±9,1
при 105°C	13,9±0,58	36,6	207,7±6,7

В описываемых опытах подготовленную в указанных вариантах почву использовали для выращивания яровой пшеницы в сосудах на фоне NO<sub>3</sub> 200, K<sub>2</sub>O<sub>50</sub> мг/кг почвы. Проведенные исследования показали, что предварительное высушивание почвы на солнце и в термостате при 60°C повышает запас доступных фосфатов, однако это практически не отра-

жается на выносе фосфора растениями и их урожайности. Это говорит о том, что при увлажнении высушенной почвы происходит обратный процесс снижения подвижности фосфора в ней. В то же время, высушенная в термостате при 105°C почва более чем в 2 раза увеличивает запас доступных фосфатов по сравнению с внесением фосфорного удобрения в дозе 60 мг  $P_2O_5$ /кг почвы, а вынос фосфора растениями на этом варианте приближается к таковому на удобренном варианте. Эти данные также свидетельствуют о влиянии степени высушивания почвы, и особенно удаления из нее химически связанной воды, на подвижность фосфора почвы. Поэтому высушивание при 105°C увеличило запас доступных фосфатов на 137,9 мг  $P_2O_5$ /кг при сравнительном увеличении в высушенной почве при 60°C на 33 мг  $P_2O_5$ /кг почвы. Вынос же фосфора растениями на этих вариантах свидетельствует о процессах обратного его закрепления в увлажненной почве. Внесенный  $^{32}P$  метит все обменные фосфаты, но при снижении их подвижности часть переходит в необменное состояние и поэтому, несмотря на более высокий запас доступных фосфатов, вынос фосфора близок к выносу его на контрольном варианте [4, 5].

Исследование по влиянию времени инкубации увлажненной почвы (табл. 7) подтверждает сделанные выводы. При увлажнении сухой почвы в ней происходит снижение содержания подвижного фосфора при химическом определении уже через 6 ч после начала увлажнения и стабилизируется оно через 10 дней при возрастании радиохимического содержания после 5 дней инкубации в увлажненной почве. В условиях вегетационных опытов метку  $^{32}P$  вносят перед посевом и метит подвижные и обменные фосфаты на период внесения метки и поэтому запас доступных фосфатов с этой точки зрения является отражением его содержания в допосевной период. Всходы растений появляются через 4-6 дней после посева и

если учесть еще 3-дневный срок взаимодействия метки с почвой, то становится очевидным слабая реакция растений на высушивание почвы в допосевной период и поэтому растения на вариантах с высушиванием на солнце и при 60°C используют практически одинаковое с контрольным вариантом количество фосфора и это приводит к одинаковому с контролем урожаю. Высушивание при 105°C приводит к более резким изменениям фосфатного режима в сторону увеличения его подвижных форм и последующая стабилизация его содержания протекает более медленно, что влияет на питание растений фосфором также, как и внесение фосфорных удобрений [7,10].

**7. Содержание подвижного фосфора (по Мачигину), мг/кг почвы, в зависимости от времени инкубации почвы при различной её влажности**

Влажность почвы, %	Время инкубации почвы	При химическом определении	$K_{вт}$	При радиохимическом определении
5	0	12,3	3,50	43,0
20	0	11,1	3,67	40,7
40	0	11,2	3,78	42,3
20	1 ч	11,0	3,89	42,8
40	1 ч	11,2	3,73	41,8
20	6 ч	10,9	4,08	44,5
40	6 ч	10,3	3,95	40,7
20	1 сут	9,6	4,46	42,8
40	1 сут	10,1	4,33	43,7
20	5 сут	8,8	5,91	52,0
40	5 сут	8,6	6,26	53,8
20	10 сут	6,2	8,68	53,8
40	10 сут	6,8	7,59	51,6
20	20 сут	6,4	9,47	60,6
40	20 сут	6,4	9,94	63,6

**8. Содержание подвижного фосфора в различных слоях пахотного слоя, мг/кг почвы**

Глубина взятия образца, см	22 августа				5 сентября			
	Влажность почвы, %	Контроль	$P_{120}$	$P_2O_5$ удобрений	Влажность почвы, %	Контроль	$P_{120}$	$P_2O_5$ удобрений
0-0,5 (сухая корка)	5,6	18,4	43,6	24,8	20,0	15,0	35,4	20,4
0-2,5	11,1	12,5	36,6	24,1	19,9	12,6	33,8	21,2
2,5-7,5	15,3	9,5	36,4	26,9	17,1	8,6	34,2	25,6
7,5-12,5	15,3	8,3	34,8	26,5	15,2	8,0	32,0	24,0
12,5-17,5	15,2	8,3	34,5	26,2	15,4	7,8	32,4	24,6

Исходя из рассмотренных возможностей изменения содержания подвижного фосфора в почве и переносе их в естественные, полевые условия становится понятным отсутствие достоверных, четких данных о динамике содержания подвижного фосфора, ибо в полевых условиях практически основным фактором изменения содержания подвижного фосфора может быть высушивание почвы. Для проверки этого положения был проведен лабораторно-полевой опыт по динамике содержания подвижного фосфора по Мачигину в различных слоях южного карбонатного чернозема обрабатываемого горизонта. Таким образом, в естественных условиях основным фактором повышения содержания подвижного фосфора в почве является высушивание почвы ниже влажности завядания растений и величина увеличения зависит от степени высушивания, удаления химически связанной воды. Высушиванию подвергается почвенный слой с разрушенными капиллярными сосудами, то есть слой на глубину предпосевной обработки почвы или глубину посева семян. выпадающие осадки в течение вегетационного периода могут уменьшать глубину высушиваемого слоя. Нижние непересыхающие слои почвы содержат стабильное содержание подвижного фосфора. Появляющиеся в литературных источниках сведения о динамике подвижного фосфора являются результатом методических особенностей и микроструктуры почвенного покрова, подготовки почвенных образцов к анализу, а также степени и глубины высушивания верхнего слоя обрабатываемого горизонта. Например, в наших опытах высушивание почвы после ее инкубирования в течение 2 нед при влажности 25% и температуре 25°C повышало содержание под-

вижного фосфора и в какой-то мере нивелировало различия его содержания в разных слоях за счет увеличения числовых значений (табл. 9).

**9. Содержание подвижного фосфора в различных слоях обрабатываемого горизонта, мг/кг почвы**

Слой почвы, см	Исходное содержание	После инкубации	
		без высушивания	с высушиванием
0-2,5	13,2	9,0	12,8
2,5-7,5	9,8	7,9	11,5
7,5-12,5	8,7	7,3	11,0
12,5-17,5	8,2	7,4	11,0

Поведение фосфора почвы также характеризуется её стремлением к установлению динамического равновесия своих компонентов. Однако из-за близкого к равновесному состоянию фосфора и отсутствия резких колебаний гидротермических условий состояния почвы динамика фосфора в почве в вегетационный период практически не проявляется.

Содержание подвижного фосфора почвы может увеличиваться в результате ее высушивания и тем интенсивнее, чем оно сильнее. В производственных условиях высушиванию подвергается преимущественно слой обрабатываемого горизонта на глубину предпосевной обработки или посева сельскохозяйственных культур.

В интервале влажности почвы 15-50% наблюдается стабильное содержание подвижного фосфора, а в условиях переувлажнения, т. е. при влажности выше 50%, происходит снижение содержания подвижного фосфора при химическом и

увеличение при радиохимическом его определении. Это происходит в результате разукрупнения водопрочных агрегатов изменения межфазного перераспределения фосфора между жидкой и твердой фазами. Однако, следует заметить, что в естественных условиях такое переувлажнение бывает крайне редко, особенно в зоне засушливого земледелия, а в условиях весеннего временного переувлажнения каких-либо заметных изменений нет из-за низких температур [7].

Динамика содержания подвижного фосфора в полевых условиях зависит преимущественно от высушивания почвы, глубины высушенного слоя и интенсивности высушивания и, соответственно, от соотношения в анализируемом образце сухой и влажной почвы.

#### *Литература*

1. Амелянский В.Л. Очерки по микробиологии. – Избранные труды, Т. 2. – М.: Изд. АН СССР, 1953. – С. 180-224. 2. Борисов Н.И. Применение изотопа  $P^{32}$  при агрохимических и почвенных исследованиях. – М.: Изд. АН СССР, 1955. – С.146-187. 3. Егорова С.В., Стефарук В.П.

Динамика численности и биомассы бактерий в лесных почвах и влияние на нее влажности, температуры и удобрений// В сб: Динамика микробиологических процессов в почве: ч. 2, Материалы симпозиума (4–5 сентября 1974 г.).- Таллин, 1974. 4. Иванов П.К. Повышение плодородия черноземных и каштановых почв.-М.: Изд. АН СССР, 1959. –135 с. 5. Илларионова Э.С. Органический фосфор почвы и его минерализация. – Известия АН СССР, серия биологическая, 1978.- №3.- С. 382-389. 6. Кочергин А.Е. Эффективность удобрений на черноземах Западной Сибири. –В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири.- М.: Наука, 1968.- С. 316-336. 7. Лебедев А.Н. Высыхание почвы как природный фактор образования ее плодородия. – Избранные труды. – М.: Сельхозгиз, 1960.- С 205-265. 8. Мишутич Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. – М.: Наука, 1972. – 342 с. 9. Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии. – М.: Колос, 1968. – 496 с. 10. Францесон В.А. Влияние высушивания и смачивания на подвижность  $P_2O_5$  в черноземных почвах. – Избранные труды. – М.: Сельхозгиз. 1963. С. 282-287. 11. Харин А.Н., Катаева Н.А., Хорина А.Т. Курс химии.- М.: Высшая школа, 1975.- 414 с.

## **EFFECT OF HYDROTHERMAL FACTORS ON THE MOBILITY OF PHOSPHORUS IN CHERNOZEMIC SOILS**

**V.M. Krasnitsky<sup>1</sup>, O.T. Ermolaev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Omskii Center of Agricultural Service, pr. Koroleva 34, Omsk, 644012 Russia*

<sup>2</sup>*Tyumen' State Agricultural Academy, ul. Respubliki 7, Tyumen', 625003 Russia E-mail: [krasnitsky@omsknet.ru](mailto:krasnitsky@omsknet.ru)*

*The effect of hydrothermal factors (temperature and water content) on the mobility of phosphorus in the soil was studied. Data on the factors determining the content of available phosphorus in the soil were presented.*

*Keywords: available phosphorus, temperature, water content, hydrothermal parameters, incubation.*