

09-04-13621 \_ .

В вегетационном опыте на дерново-подзолистой почве, загрязненной тяжелыми металлами изучали действие и последствие нового комплексного удобрения пролонгированного действия на основе трепела – Супродит и промышленных удобрений на ряд показателей биологической активности почвы. Эффективность Супродита в отношении влияния на потенциальную активность дыхания почвы, загрязненной Cd, Zn и Cu, оказалась в 1,5-3,3 выше по сравнению с NPK и нитрофоской, в год внесения. Активность фермента дегидрогеназы при внесении Супродита в загрязненную ТМ почву была в 1,2-2,0 раза и инвертазы в 1,1-1,5 раза выше, чем при применении промышленных удобрений. Супродит является наиболее перспективным, по сравнению с промышленными удобрениями, мелiorантом на техногенно загрязненных дерново-подзолистых почвах.

**Ключевые слова:** почва, тяжелые металлы, Супродит, промышленные удобрения, эффективность, потенциальная активность дыхания, активность дегидрогеназы и инвертазы, плодородие.

**Введение.** Функционирующие промышленные предприятия и автотранспорт являются источниками выброса значительных количеств Cd, Zn, Cu, Pb, Ni, Co и других тяжелых металлов (ТМ), соли которых оседают на поверхности почвы и загрязняют сельскохозяйственную продукцию. Высокие дозы ТМ могут ингибировать различные показатели биологической активности в почве, в том числе активность дыхания почвы, а также ряда ферментов, что негативно влияет на почвенную микробиоту. С помощью ферментов осуществляется разложение и синтез органических соединений, что является сущностью почвообразовательного процесса. Несмотря на то, что некоторые ТМ входят в состав ряда ферментов, избыток их токсичен для ферментов, так как приводит к разрыву или торможению энзиматических реакций.

Перспективным приемом повышения плодородия почв и снижения накопления загрязняющих веществ в урожае сельскохозяйственных культур может служить применение сорбентов и удобрений на их основе, обладающих высокой емкостью поглощения. Основное вни-

мание уделяется сорбентам, промышленные залежи которых находятся на загрязненных территориях или на расстояниях, позволяющих организовать дешевую их доставку к месту применения. Цель наших исследований – изучить влияние различных удобрений на показатели биологической активности в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, загрязненной Cd, Zn, Cu.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на экспериментальной базе ВНИИСХРАЭ в вегетационном опыте. Агрохимическая характеристика почвы: рН<sub>KCl</sub> – 6,2; содержание гумуса – 2,3%; гидролитическая кислотность – 0,4; емкость поглощения – 22,9 мг-экв/100 г почвы; содержание подвижного фосфора и обменного калия 25,0 и 8,6 мг/100 г почвы соответственно.

В ВНИИСХРАЭ разработано новое комплексное органо-минеральное удобрение пролонгированного действия на основе трепела – Супродит. В удобрении содержится: N – 14,0 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 15,7 %; K<sub>2</sub>O – 11,2 %, содержание органического вещества – около 40%. В состав органического вещества входит гумат калия. Пролонгированное действие означает, что эффект от однократного применения комплексного удобрения будет сохраняться в течение двух вегетационных периодов и более. Получен патент на изобретение № 2336257 «Способ получения комплексного удобрения пролонгированного действия». Супродит применяли в дозах 800-1000 кг/га, в качестве основного удобрения под различные сельскохозяйственные культуры: зерновые, картофель и овощи, многолетние и однолетние травы [1]. В ряде публикаций уже отмечалось позитивное влияние Супродита на показатели биологической активности в техногенно загрязненной дерново-подзолистой почве [2, 3]. В данной работе изучали действие и последствие удобрения Супродит, по сравнению с промышленными удобрениями – NPK и нитрофоской – на потенциальную активность дыхания и активность ферментов дегидрогеназы и инвертазы в загрязненной ТМ почве.

Питательные вещества вносили при закладке опыта из расчета по 0,15 г/кг почвы N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (NPK), со-

ответственно, в виде растворов солей  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{PO}_4$  и  $\text{KCl}$ . Тяжелые металлы добавляли в почву в виде растворов сернокислых солей из расчета  $\text{Cd}_6$ ,  $\text{Zn}_{600}$ ,  $\text{Cu}_{390}$  мг/кг (3 ПДК). За ПДК взяты:  $\text{Cd}$  – 2,  $\text{Zn}$  – 200,  $\text{Cu}$  – 130 мг/кг почвы [4]. Дозы применения Супродита и нитрофоски были рассчитаны, исходя из содержания  $\text{N}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  в варианте НРК. Нитрофоска содержит  $\text{N}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$ , по 10% каждого элемента. Варианты опыта приведены в таблице 1. Действие удобрений изучали в год внесения ТМ в почву, последствие – через год после внесения их и ТМ. Опыт был поставлен по общепринятой методике [5], повторность опыта 3-кратная. В течение вегетационного периода в наиболее чувствительные для растений пшеницы этапы орнаногенеза отбирали образцы почвы для определения потенциальной активности дыхания. Этот показатель определяли по теплопроводности на газовом хроматографе Модель 3700 с детектором. Активность дегидрогеназы и инвертазы определяли по методике Галстяна, детализированной и изложенной в [6].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты исследований по влиянию Супродита и промышленных удобрений (НРК и нитрофоски) на рост и развитие пшеницы свидетельствуют о том, что в год внесения масса зерна в варианте с Супродитом была выше по сравнению с НРК и нитрофоской на 23 и 20% соответственно (табл. 1). На загрязненной  $\text{Cd}_6$  почве продуктивность пшеницы в варианте с Супродитом была выше по сравнению с НРК и нитрофоской на 24 и 34%, соответственно. Необходимо подчеркнуть большее по сравнению с промышленными удобрениями влияние Супродита на нивелирование отрицательного действия  $\text{Zn}$  и  $\text{Cu}$ . Масса зерна на загрязненной  $\text{Zn}_{600}$  почве в варианте с Супродитом была – на 153 и 176% выше по сравнению с НРК и нитрофоской соответственно. Этот показатель в варианте с внесением Супродита в загрязненную  $\text{Cu}_{390}$  почву оказался выше, чем в вариантах с НРК и нитрофоской, на 47 и 13% соответственно. Супродит содержит гумат калия (около 4%), что благоприятно влияет на рост и развитие растений.

1.

/		/	, - 2, /		
			1	2	3
1	НРК	11,3	437,7±54,6	618,7±38,1	87,6±11,9
2		13,9	578,4±120,4	716,3±90,0	157,6±16,5
3		11,6	507,4±96,1	363,7±25,4	97,3±7,9
4	НРК + $\text{d}_6$	9,4	280,2±49,5	376,5±64,3	79,2±6,9
5	$\text{d}_6$ +	11,7	153,2±17,9	622,6±69,3	82,3±8,6
6	+ $\text{d}_6$	8,7	237,8±38,9	417,7±25,4	136,3±34,5
7	НРК + $\text{Zn}_{600}$	3,3	420,2±75,7	801,3±62,4	122,6±28,6
8	$\text{Zn}_{600}$ +	9,1	243,1±44,2	564,2±42,0	103,6±39,7
9	+ $\text{Zn}_{600}$	3,6	250,1±62,4	309,9±25,4	47,1±0
10	НРК + $\text{Cu}_{390}$	8,1	245,1±57,2	546,5±17,3	87,5±28,6
11	$\text{Cu}_{390}$ +	11,9	166,0±41,9	486,5±42,0	114,2±34,7
12	+ $\text{Cu}_{390}$	10,5	50,0±11,7	341,8±49,2	47,1±0
	05	0,7	-	-	-

1-3 ( : 1 – , 2 – , 3 – )

2.

	/	, - 2, /		
		1	2	3
1	22,8	153,0±12,7	325,0±21,0	467,3±53,4
2	26,1	340,4±31,7	530,7±32,5	624,5±93,9
3	22,8	242,0±19,5	305,5±22,0	325,0±25,4
4	21,2	352,4±31,9	303,1±10,5	358,2±15,1
5	26,9	324,9±22,8	532,7±41,0	729,6±83,6
6	25,1	400,0±20,3	350,6±40,5	372,1±80,6
7	24,8	179,3±18,1	250,5±23,8	195,9±24,6
8	26,7	284,5±41,3	420,7±30,0	438,0±63,1
9	25,5	314,5±28,0	302,5±10,0	372,5±58,6
10	20,0	204,1±44,7	280,8±18,5	433,2±60,0
11	25,5	277,3±41,7	504,9±45,1	698,4±22,9
12	24,6	282,0±57,2	267,3±20,0	303,7±67,9
	05	1,6	-	-

На второй год эксперимента надземная биомасса в варианте с Супродитом была выше по сравнению с НРК и нитрофоской на 14% (табл. 2). Через год после внесения в почву ни  $\text{Cd}_6$ , ни  $\text{Zn}_{600}$  уже не оказывали отрицательного влияния на продуктивность пшеницы ни в одном из вариантов опыта. Тем не менее преимущество за Супродитом наблюдалось и при совместном присутствии в почве удобрений и  $\text{Cd}$  в дозе 6 мг/кг. Биомасса пшеницы в данном варианте была достоверно выше по сравнению с НРК и нитрофоской, на 27 и 7%, соответственно. Необходимо подчеркнуть положительное влияние Супродита на ростовые процессы в варианте с  $\text{Zn}$  по сравнению с НРК. Надземная биомасса в данном случае была больше на 8%. Присутствие в почве меди в дозе 390 мг/кг повлияло на ухудшение роста и развития пшеницы только в варианте с НРК, снижение биомассы составило 12%. Надземная биомасса при совместном присутствии в почве  $\text{Cu}_{390}$  и Супродита была на 28% выше, чем в варианте с НРК.

ТМ и удобрения в год внесения по-разному влияли на потенциальную активность дыхания в почве в течение вегетации пшеницы. Так,  $\text{Cd}_6$  в вариантах с НРК, Супродитом и нитрофоской снижал уровень дыхания почвы, соответственно, в 1,6, 3,8 и 2,1 раза, в фазе выхода в трубку пшеницы, что негативно влияло на почвенный микробиоценоз (табл. 1). В фазе колошения пшеницы Супродит был эффективнее других изучаемых видов удобрений, и повышал активность дыхания почвы в 1,7 раза по сравнению с НРК, и в 1,5 раза по сравнению с нитрофоской, на почве, загрязненной  $\text{Cd}_6$ . Внесение в почву  $\text{Zn}_{600}$  особенно отрицательно сказалось на активности дыхания в варианте с нитрофоской, в фазе полной спелости – кратность ингибирования выделения  $\text{CO}_2$  составила 2,1 раза по сравнению с вариантом без добавления металла. Супродит, внесенный в загрязненную  $\text{Zn}_{600}$  почву, оказался эффективнее нитрофоски в 1,8-2,2 раза в фазы колошения и полной спелости соответственно.  $\text{Cu}_{390}$  оказалась наиболее токсичной для микроорганизмов, высвобождающих углерод из почвы в форме  $\text{CO}_2$ , в вариантах с нитрофоской в фазы выхода в трубку и полной спелости – снижение активности дыхания составило 10,1 и 2,1 раза соответственно. Активность дыхания в загрязненной  $\text{Cu}_{390}$  почве в варианте с Супродитом в сравнении с нитрофоской была выше, соответственно, в 3,3 и 2,4 раза (табл. 1).

3.

	/10 24			/100 1		
	1	2	3	1	2	3
1	6,3	5,0	7,5	82	85	64
2	7,5	6,3	7,5	89	89	76
3	5,5	5,1	5,3	78	72	60
4	2,5	3,1	3,8	80	78	44
5	5,0	5,4	5,3	85	88	67
6	4,1	5,0	3,8	75	65	52
7	4,9	3,7	3,8	70	76	40
8	5,2	5,0	4,4	76	73	58
9	4,1	2,9	3,1	66	65	52
10	3,7	2,2	3,1	49	43	27
11	4,4	4,0	4,8	57	55	32
12	3,5	2,5	3,8	52	50	32
05	0,7	0,9	1,0	8	6	10

Через год после внесения ТМ и удобрений в почву ситуация изменилась. Кадмий снижал уровень дыхания в почве в 1,3 раза только в варианте с NPK в фазе полной спелости (табл. 2). Супродит повышал активность дыхания в почве в 1,8 и 1,5 раза по сравнению с NPK и нитрофоской, на почве, загрязненной Cd<sub>6</sub>, в фазе колошения, и 2,0 раза в фазе полной спелости. Внесение в почву Zn негативно сказалось на активности дыхания почвы в варианте с NPK и Супродитом, в фазу колошения и полной спелости пшеницы по сравнению с вариантом без добавления металла. Супродит, внесенный в загрязненную Zn<sub>600</sub> почву в 1,7 и 1,4 раза эффективнее NPK и нитрофоски в фазу колошения, и эффективнее NPK в 2,2 раза в фазу полной спелости пшеницы, соответственно.

Медь через год после внесения в почву достоверно не оказывала негативного влияния на интенсивность дыхания ни в одном из вариантов применения удобрений. Активность дыхания в загрязненной Cu<sub>390</sub> почве с Супродитом оказалась выше в сравнении с NPK и нитрофоской, в 1,8 и 1,9 раза в фазе колошения, и в 1,6 и 2,3 раза в фазе полной спелости, соответственно. Таким образом, Супродит и на второй год эксперимента был эффективнее промышленных удобрений, в отношении влияния как на продуктивность яровой пшеницы, так и на активность дыхания в почве, загрязненной ТМ.

Фермент дегидрогеназа связан с процессом дыхания почвы и является индикатором оценки биологической активности техногенно загрязненной дерново-подзолистой почвы и уровня ее плодородия. Ранее в экспериментах на дерново-подзолистой почве было показано наличие тесной положительной корреляции между скоростью эмиссии CO<sub>2</sub> в почве и активностью дегидрогеназы при внесении минеральных удобрений и различных способах основной обработки почвы под зерновыми культурами – ячменем и озимой рожью ( $r = 0,8-0,9$ ) [7]. Дегидрогеназа оказывается очень чувствительной к действию высоких концентраций ТМ в почве в год внесения. Что касается динамики активности дегидрогеназы и инвертазы по фазам вегетации пшеницы, то литературные данные по этому вопросу практически отсутствуют. Проведенные ранее авторами статьи наблюдения за динамикой дегидрогеназной активности почвы в полевых опытах на дерново-подзолистой почве под зерновыми культурами показали, что она возрастает от начала вегетации растений до их технической спелости в большинстве случаев [7]. Большой интерес представ-

ляет изучение динамики активности ферментов почвы, загрязненной ТМ, в наиболее чувствительные для растений пшеницы этапы органогенеза. Так, результаты определения активности дегидрогеназы (табл. 3) показали, что внесение Cd<sub>6</sub> уменьшило дегидрогеназную активность почвы в варианте с NPK, в 1,6-2,5 раза в зависимости от фазы развития пшеницы, а в варианте с внесением нитрофоски – в 1,3-1,4 раза, с Супродитом – до 1,5 раза по сравнению с вариантами без внесения металла. Фермент оказался чрезвычайно чувствительным также к присутствию в почве повышенных концентраций Zn (его активность упала в 1,3-2,0 раза в варианте с NPK, в 1,3-1,7 раза в варианте с Супродитом, а в варианте с нитрофоской – в 1,3-1,8 раза, в зависимости от фазы развития пшеницы). Активность дегидрогеназы при внесении Cu по фазам развития снизилась в 1,7-2,4; 1,6-1,7 и 1,4-2,0 раза, при внесении в почву NPK, Супродита и нитрофоски, соответственно. Эффективность Супродита по влиянию на активность фермента в варианте, где в почву был внесен Cd<sub>6</sub>, оказалась выше, чем NPK и нитрофоски, в 2,0 и 1,2 раза в фазе выхода в трубку, до 1,7 раза в фазу колошения и в 1,4 раза, в фазу полной спелости, соответственно.

В целом можно сделать вывод о том, что эффективность Супродита по влиянию на активность дегидрогеназы корнеобитаемого слоя почвы, загрязненной ТМ, максимальна в фазе колошения – период наибольшего развития подземной биомассы пшеницы.

И через год после внесения ТМ в почву дегидрогеназа оказывается очень чувствительной к их высоким концентрациям. Так, внесение Cd<sub>6</sub> уменьшило дегидрогеназную активность почвы в варианте с NPK, в 1,35-1,6 раза в зависимости от фазы развития пшеницы (табл. 4). Фермент – чрезвычайно чувствителен также к присутствию в почве повышенных концентраций Zn (его активность упала в 2,0-2,25 раза в варианте с NPK, до 1,5 раза в варианте с Супродитом, а в варианте с нитрофоской – в 1,4-1,7 раза, в зависимости от фазы развития пшеницы). Эффективность Супродита по влиянию на активность фермента в варианте, где в почву был внесен Cd<sub>6</sub>, оказалась выше, чем NPK, в 1,7 и 1,6 раза в фазы выхода в трубку и полной спелости соответственно. Супродит оказался эффективней NPK в отношении активности данного фермента и в варианте с Zn<sub>600</sub>, в 1,9 и 1,35 раза в фазы выхода в трубку и полной спелости пшеницы.

#### 4.

	/10 24		/10	
	1	2	1	2
1	2,7	4,0	54	70
2	6,0	6,3	64	80
3	5,0	5,8	62	76
4	2,0	2,5	43	54
5	3,4	3,9	49	66
6	4,2	4,3	45	68
7	1,2	2,0	31	40
8	2,3	2,7	41	53
9	1,9	2,4	38	56
10	-	-	29	34
11	-	-	35	44
12	-	-	38	43

0,5	0,5	0,8	5	8
: 1 –				
2 –				

Сахаролитический фермент инвертаза, участвующий в процессе расщепления в почве сахарозы на глюкозу и фруктозу, в год внесения ТМ был чувствителен к Cd в фазе полной спелости, а к Zn и Cu – во все фазы развития пшеницы. Активность фермента под действием Cd снизилась в варианте с NPK в 1,5 раза; в вариантах с другими видами удобрений различия оказались недостоверными. При загрязнении почвы Zn кратность снижения составила: для NPK – 1,1-1,6 раза; для Супродита – 1,2-1,3 раза; для нитрофоски – 1,1-1,2 раза по сравнению с вариантами без внесения Zn, соответственно, в зависимости от фазы развития пшеницы. Наиболее чувствителен оказался фермент к влиянию Cu. При загрязнении почвы Cu кратность снижения составила: для NPK – 1,7-2,4 раза; для Супродита – 1,6-2,4 раза; для нитрофоски – 1,4-1,9 раза, соответственно, в зависимости от фазы развития.

В целом эффективность Супродита в отношении активности инвертазы в загрязненной ТМ почве оказалась выше в фазы колошения и полной спелости пшеницы, нежели в фазе выхода в трубку, что может быть объяснено более интенсивными процессами расщепления сахарозы в корнеобитаемом слое почвы из-за большей подземной биомассы пшеницы в более поздние фазы развития.

Через год после внесения Cd, активность фермента снизилась в варианте с NPK в 1,3 раза; при применении Супродита – в 1,2-1,3 раза, в варианте с нитрофоской – до 1,4 раза. При загрязнении почвы Zn кратность снижения составила: для NPK – 1,7-1,75 раза; для Супродита – 1,5-1,6 раза; для нитрофоски – 1,4-1,6 раза по сравнению с вариантами без внесения Zn, соответственно, в зависимости от фазы развития пшеницы. Наиболее чувствителен оказался фермент к влиянию Cu. При загрязнении почвы Cu кратность снижения составила: для NPK – 1,9-2,0 раза; для Супродита – 1,8

раза; для нитрофоски – 1,6-1,8 раза, соответственно, в зависимости от фазы развития.

Таким образом, новое комплексное удобрение пролонгированного действия Супродит является наиболее перспективным, по сравнению с промышленными удобрениями, мелиорантом на техногенно загрязненных дерново-подзолистых почвах, нивелирующим негативное действие ТМ на основные показатели биологической активности в почве, характеризующие уровень ее плодородия.

#### Литература

1. А.Н. Ратников, Д.Г. Свириденко, Т.Л. Жигарева, К.В. Петров, Г.И. Попова, В.С. Анисимов. Ресурсосберегающие технологии производства и применения нового комплексного удобрения пролонгированного действия – СУПРОДИТ // Сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии» г., Владимир. М.: Россельхозакадемия, ГНУ ВНИПТИОУ, 2009. С. 52-58.
2. А.Н. Ратников, Д.Г. Свириденко, Г.И. Попова, В.С. Анисимов, Е.В. Егорова, Т.Л. Жигарева, В.Н. Мазуров, К.В. Петров, М.Н. Картузова Применение удобрения пролонгированного действия в условиях техногенного загрязнения // Плодородие, 2007. № 6. С. 33-3.
3. А.Н. Ратников, Д.Г. Свириденко, Т.Л. Жигарева, К.В. Петров, В.С. Анисимов, Г.И. Попова, М.Н. Картузова, Е.В. Егорова Экологическая роль нового комплексного удобрения в снижении поступления тяжелых металлов в растения ячменя // Сб. материалов Всероссийского совещания учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями «Экологические функции агрохимии в современном земледелии». М.: ВНИИА, 2008. С. 175-178.
4. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. С. 43.
5. З.И. Журбицкий Теория и практика вегетационного опыта. М.: Наука, 1968. 243 с.
6. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.
7. Д.Г. Свириденко Влияние технологических приемов возделывания зерновых культур на накопление  $^{137}\text{Cs}$  и тяжелых металлов в урожае и биологическую активность почв. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Обнинск, 2006. 28 с.

## THE EFFECT OF SUPRODIT AND INDUSTRIAL FERTILIZERS ON THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL CONTAMINATED WITH HEAVY METALS

*D.G. Sviridenko, A.N. Ratnikov, R.M. Alexahin, G.I. Popova, E.V. Egorova*  
*Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Russian Academy of Agricultural Sciences,*  
*Obninsk, Kaluga region, Russia*

*Moscow State University, Moscow ratnikov@riar.obninsk.org*

*It has been studied the effect of new complex fertilizer «Suprodit» and industrial fertilizers (NPK and «nitrophoska») on the biological activity of soddy-podzolic soil, contaminated with Cd, Zn, Cu at different doses (6, 600, 390 mg/kg accordingly). The using of «Suprodit» increased the CO<sub>2</sub> emission rate on Cd, Zn, Cu contaminated soil by 1,5-3,3 times in comparison with NPK and «nitrophoska». «Suprodit» stimulated the enzymatic activity of soil dehydrogenase 1,2-2,0 times, and soil invertase 1,1-1,5 times on Cd, Zn and Cu contaminated soil in comparison with two another fertilizers, accordingly. It has been shown that “Suprodit” is the most effective fertilizer comparison with industrial fertilizers to reduce negative effects of heavy metals on the soil fertility on contaminated lands.*