

ЛАБИЛЬНОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО КАК ФАКТОР МОБИЛИЗАЦИИ-ИММОБИЛИЗАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ

Е.А. Лыкова¹, Н.Н. Мирошниченко¹, О.С. Панасенко², О.П. Сябрук¹

¹Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии
им. А.Н.Соколовского», г. Харьков, Украина

²Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева,
г. Харьков, Украина

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество имеет исключительное значение в концентрировании микроэлементов (МЭ) в земной коре и их накоплении в корнеобитаемом слое почв. Однако отделить геохимическую роль живого вещества от роли органических веществ, образовавшихся после гибели организмов, невозможно, что отмечал еще А.П. Виноградов [1]. Растения и микроорганизмы, продукты их жизнедеятельности, отмершие остатки тканей и микробной массы различной степени минерализации, а также гумусовые вещества являются взаимосвязанным комплексом, определяющим интенсивность круговорота всех биофильных элементов.

К основным механизмам иммобилизации МЭ в почве относится ионообменная адсорбция, образование осадков малорастворимых солей и поглощение биологическими компонентами почвы. По мнению Т.М. Минкиной, из этих процессов более распространена ионообменная адсорбция, поскольку она связана с массообменом между поверхностью почвенных частиц и почвенным раствором [2]. В отличие от физико-химических механизмов иммобилизации МЭ, их концентрирование почвенной микробиотой исследовано недостаточно. Однако отмечается, что, поскольку количество биомассы микроорганизмов в значительной степени подвержено временным колебаниям (многолетним, межсезонным, внутрисезонным и внутрисуточным), от этого зависит и степень вовлечения МЭ в биогенную миграцию [3].

Лабильное органическое вещество (ЛОВ) почвы считается одним из наиболее доступных энергетических и питательных субстратов для микроорганизмов [4], а ежегодное высвобождение элементов из его состава сопоставимо с их выносом урожаем [5]. Вместе с тем при оценке микроэлементного статуса почвы преимущественно учитывают лишь способность гумуса к поглощению тяжелых металлов, а его значением как депо и фактора подвижности основных эссенциальных МЭ зачастую пренебрегают [6].

Задачей исследований было выявление связи содержания подвижных форм микроэлементов в почве с лабильным органическим веществом и его динамикой в сезонном и многолетнем цикле.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на трех объектах, расположенных в пределах Левобережной высокой провинции Лесостепи Украины (юго-западная окраина Среднерусской возвышенности) на зональных типах почв – черноземах типичных и оподзоленных.

Изучение длительных изменений микроэлементного состава почв и их лабильного органического вещества, обусловленных вовлечением в пашню, проводили на черноземах типичных среднесуглинистых на лессовидных суглинках Украинского природного степного заповедника «Михайловская целина». Заповедник расположен на водоразделе между реками Сула и Псел. Изучали почвы на абсолютно целинном участке, залежи (с 1956 г.) и пашни, освоенной с 1933 г.

Многолетние изменения микроэлементного состава черноземов и их лабильного органического вещества, связанные с влиянием длительного применения удобрений, изучали на черноземе типичном тяжелосуглинистом Слобожанского (бывшее Граковское) опытного поля ННЦ ИПА в стационарном полевом опыте, заложенном в 1990 г. Почва пахотного слоя имеет pH солевой 6,2–6,7, содержание гумуса – 5,6–5,8 %, общего азота – 0,30–0,34 %, подвижных P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 90 мг/кг и 100 мг/кг соответственно. Исследования проводили на таких вариантах опыта: 1) контроль (без удобрений); 2) минеральная система ($N_{45}P_{50}K_{45}$); 3) органическая система (навоз 8 т/га); 4) органо-минеральная система (навоз 8 т/га + $N_{45}P_{50}K_{45}$).

Многолетние изменения микроэлементного состава черноземов и их лабильного органического вещества, связанные с влиянием севооборота, а также их сезонные колебания изучали на черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом того же опытного поля с такими параметрами: pH солевой 6,0, содержание гумуса – 4,1 %, подвижных P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 138 мг/кг и 90 мг/кг соответственно. Исследования проводили на мониторинговых делянках 2×2 м, расположенных на неудобряемом контроле и варианте с минеральной системой ($N_{47-61}P_{44-62}K_{44-65}$) в двух севооборотах: зернопропашном (пар – озимая пшеница – однолетние травы – озимая рожь – кукуруза на силос – ячмень) и зерновом с многолетними травами (люцерна – люцерна – озимая рожь – кукуруза на зерно – кукуруза на силос – ячмень).

Содержание микроэлементов в почве определяли в аммонийно-ацетатном буфере с pH 4,8 по Крупскому и Александровой и 1н HCl по Ринькису. Содержание микроэлементов в составе лабильного органического вещества определяли по предложенной нами методике (вытяжка 1,3 н HCl после обработки почвы 0,2 н NaOH) с атомно-абсорбционным окончанием.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение микроэлементного состава почвы при ее распашке обусловлено резким ускорением минерализационных процессов, что приводит к высвобождению значительного количества биофильных элементов [7]. Однако, как отмечает ряд исследователей [8], гумусовое состояние черноземов Украины относительно стабилизировалось к 60–70 гг. XX ст., при этом с конца XIX ст. почвы лишились

почти 22% запасов органического вещества. Безусловно, это сопровождалось и соответственным усилением биологического круговорота высвобождаемых микроэлементов. Сопоставляя микроэлементный состав пахотного чернозема типичного и его целинного и залежного аналогов, нельзя не отметить ряд существенных отличий (табл. 1). Прежде всего, это значительное (на 25–40 %) снижение содержания в почве подвижных форм железа и марганца, которое может происходить за счет более интенсивного разложения обедненных этими элементами органо-минеральных соединений. Вследствие этого массовая часть Fe в составе лабильного органического вещества пахотной почвы вчетверо выше, чем на целине, и вдвое – чем на залежи (табл. 2). Обогащение лабильного гумуса наблюдается также и для других микроэлементов – Cu, Co, Zn. Однако, по-видимому, вследствие различных механизмов закрепления МЭ в пахотной почве происходит накопление общего запаса меди в лабильном органическом веществе, тогда как общее количество Fe и Mn снижается.

Таблица 1

**Содержание микроэлементов в гумусо-аккумулятивном горизонте
чернозема типичного при различном использовании**

Угодья	Содержание подвижных форм микроэлементов, мг/кг					Содержание прочносвязанных форм микроэлементов, мг/кг				
	Co	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Целина	0,24	0,26	1,73	55,8	0,07	2,2	2,3	534	258	4,5
Залежь	0,20	0,35	1,05	34,0	0,06	2,5	2,8	566	266	3,8
Пашня	0,17	0,42	1,29	32,5	0,05	1,7	3,2	688	233	4,0

Таблица 2

**Содержание микроэлементов в лабильном гумусе чернозема типичного
при различном использовании**

Угодья	Содержание лабильного гумуса, %	Доля лабильных форм от общего содержания гумуса, %	Содержание МЭ в лабильном органическом веществе, верхнее значение – мг/кг почвы, нижнее – мг/г ЛОВ				
			Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Целина	0,85	9,74	<u>0,43</u> 0,05	<u>0,75</u> 0,09	<u>8,20</u> 0,96	<u>2,07</u> 0,24	<u>2,35</u> 0,28
Залежь	0,32	4,41	<u>0,30</u> 0,09	<u>0,94</u> 0,29	<u>5,82</u> 1,82	<u>0,34</u> 0,11	<u>1,25</u> 0,39
Пашня	0,15	2,60	<u>0,37</u> 0,25	<u>1,42</u> 0,95	<u>5,78</u> 3,85	<u>0,55</u> 0,37	<u>3,62</u> 2,41
<i>HCP</i> _{0,5}			0,17	0,68	1,79	0,13	1,25

2. Плодородие почв и применение удобрений

Изменение микроэлементного состава почв лесостепной зоны при длительном применении удобрений прежде всего определяется их кислотно-основными свойствами и гранулометрическим составом. На высокобуферных тяжелосуглинистых и глинистых черноземах значительных изменений содержания прочносвязанных форм МЭ, как правило, не наблюдается, но по мере подкисления почвы происходит увеличение степени их подвижности. Как следует из таблицы 3, систематическое внесение органических удобрений существенно увеличивает содержание подвижной меди, а минеральная система удобрений способствует повышению подвижности железа. Первый эффект мы связываем с привнесением элемента извне и его закреплении в составе гумусовых веществ, которые, как известно, имеют наибольшее сродство к меди [9]. Во втором случае весьма вероятно обратное – разложение гумусовых комплексов и увеличение растворимости соединений железа при подкислении (рН солевой составил 6,0 против 6,2 на контроле).

Определение содержания МЭ в лабильном органическом веществе подтверждает эту гипотезу (табл. 4). На варианте с минеральной системой удобрения гумусовые вещества обогащены медью и железом, но их общее количество меняется мало. Внесение навоза, наоборот, способствует ново-образованию лабильного гумуса, имеющего меньшее относительное содержание Co, Cu, Fe и Zn. Аналогичный эффект характерен и для органо-минеральной системы. Таким образом, длительное применение минеральных и органических удобрений существенным образом изменяет не только количество, но и качество лабильного органического вещества почвы.

Таблица 3

Содержание подвижных форм микроэлементов в пахотном слое чернозема типичного при различных системах удобрения

Вариант опыта	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы			
	Co	Cu	Fe	Zn
Контроль	0,43	1,13	1,63	0,15
Минеральная система удобрения	0,45	1,21	2,11	0,28
Органическая система удобрения	0,40	1,39	1,53	0,21
Органо-минеральная система удобрения	0,40	1,22	1,16	0,47
НСП _{0,5}	0,06	0,14	0,46	0,14

Таблица 4

**Содержание микроэлементов в лабильном гумусе чернозема типичного
при различных системах удобрения**

Вариант опыта	Содержание лабильного ОВ, мг/кг почвы	Содержание МЭ в лабильном органическом веществе, верхнее значение – мг/кг почвы, нижнее – мг/г ЛОВ			
		Co	Cu	Fe	Zn
Контроль	532	$\frac{1,63}{3,06}$	$\frac{0,91}{1,70}$	$\frac{4,50}{8,46}$	$\frac{3,49}{6,55}$
Минеральная система удобрения	517	$\frac{1,89}{3,66}$	$\frac{1,39}{2,69}$	$\frac{5,84}{12,92}$	$\frac{2,69}{5,22}$
Органическая система удобрения	1005	$\frac{1,49}{1,48}$	$\frac{1,04}{1,03}$	$\frac{4,00}{3,98}$	$\frac{1,41}{1,40}$
Органо-минеральная система удобрения	1352	$\frac{1,71}{1,26}$	$\frac{1,80}{1,32}$	$\frac{4,33}{3,19}$	$\frac{1,91}{1,40}$
НСР _{0,5}	117	$\frac{0,54}{0,76}$	$\frac{0,26}{0,44}$	$\frac{2,65}{3,15}$	$\frac{0,6}{0,91}$

Обогащение почвы лабильным органическим веществом при органической и органо-минеральной системах удобрения, безусловно, оказывает прямое влияние на интенсивность биологического круговорота. Об этом свидетельствуют и измерения интенсивности дыхания почвы, проведенные как в полевых, так и в стационарных условиях. В частности, потенциальный поток биологически доступного углерода, рассчитанный по методике [10], составил на минеральной системе 11,9 мг/г в час, на органической – 13,7 мг/г в час, на органо-минеральной – 14,2 мг/г в час при 12,3 мг/г в час на контрольном варианте.

Исследования, проведенные на черноземе оподзоленном, показали, что направленность изменений содержания подвижных форм МЭ под влиянием минеральной системы удобрения в определенной мере зависит от севооборота (табл. 5). В традиционном для лесостепной зоны зернопропашном севообороте систематическое внесение минеральных удобрений способствовало некоторому уменьшению содержания подвижного железа и цинка, а в севообороте с многолетними травами и отсутствием пропашных культур наблюдалась обратная тенденция. Однако эти изменения скорее можно отнести к пространственно-временным флуктуациям. Содержание подвижного Mn, напротив, существенно (вдвое) увеличилось под воздействием минеральных удобрений независимо от севооборота.

Таблица 5

**Содержание подвижных форм микроэлементов в пахотном слое
чернозема оподзоленного и его изменение после компостирования
в течении 2 недель**

Севооборот	Вариант опыта	Содержание подвижных форм МЭ в почве, верхнее значение – до компостирования проб, нижнее – изменение после компостирования, мг/кг				
		Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Зернопропашной с черным паром	Контроль (без удобрений)	<u>0.09</u> +0,04	<u>0.22</u> +0,11	<u>1.57</u> +0,66	<u>15.7</u> –3,9	<u>0.19</u> –0,06
	Минеральная система удобрения	<u>0.11</u> +0,02	<u>0.22</u> +0,11	<u>1.40</u> +0,66	<u>30.3</u> –13,8	<u>0.16</u> –0,02
Зерновой с много- летними травами	Контроль (без удобрений)	<u>0.18</u> +0,03	<u>0.30</u> +0,13	<u>3.60</u> +0,72	<u>14.8</u> –2,2	<u>0.28</u> –0,07
	Минеральная система удобрения	<u>0.14</u> –0,03	<u>0.22</u> +0,11	<u>4.29</u> +0,46	<u>31.2</u> –17,8	<u>0.46</u> –0,18
НСП _{0,5}		<u>0.09</u> –	<u>0.13</u> –	<u>0.51</u> –	<u>4.17</u> –	<u>0.10</u> –

Известно, что содержание МЭ в почвенном растворе определяется равновесием постоянно протекающих процессов обмена между твердой и жидкой фазами почвы [11]. Полученные нами результаты дают основание предположить, что роль процессов биологической мобилизации и иммобилизации МЭ является не менее значимой. В таблице 5 приведены параметры сдвига содержания подвижных форм МЭ после компостирования проб при благоприятных для микробиологических процессов условиях температуры (27°С) и влажности (60% от НВ) в течении двух недель. Из этих данных следует, что изменения, вызванные микробиологической деятельностью, более значимы, чем связанные с системой удобрения и севооборотом. Не менее важен и тот факт, что изменения содержания подвижных форм при компостировании имеют одинаковую направленность для каждого элемента. В данном случае Mn и Zn подвержены иммобилизации, а Fe, Cu, Co – активно высвобождаются из органического вещества.

Примечательно, что способность почвы к увеличению при компостировании содержания подвижного железа и уменьшению подвижного марганца сохранялась в течении всего вегетационного периода. Измерения, выполненные таким образом на пробах почвы, отобранных на мониторинговых площадках с периодичностью каждые 2 месяца (22 мая, 27 июля и 14 сентября), дали достаточно близкие результаты: +0,88 мг/кг, +0,52 мг/кг и +0,76 мг/кг для Fe, –8,15мг/кг, –10,2 мг/кг и –7,2 мг/кг для Mn соответственно. Это дает основание для определения мобилизационно-иммобилизационной способности почвы относительно МЭ по аналогии с хорошо известной нитрификационной способностью по С.П. Кравкову. Однако нельзя исключать и влияние на содержание подвижных форм МЭ таких факторов, как сезонные изменения pH, пожнивные остатки предшественника и корневые выделения произрастающих растений, динамика процессов новообразования/минерализации лабильного гумуса и связанная с этим микробиологическая активность. В частности, динамика содержания в почве лабильного гумуса имеет выраженный спад к середине лета, несмотря на вариабельность этого показателя, обусловленную влиянием культур и системой удобрения (рис. 1). Значительно снизился в этот период и потенциальный поток биологически доступного углерода: с 8,1–11,4 мг/г в час до 5,2–6,1 мг/г в час на удобренной почве и с 7,5–10,2 мг/г в час до 5,5–6,5 мг/г в час на варианте с минеральной системой удобрения.

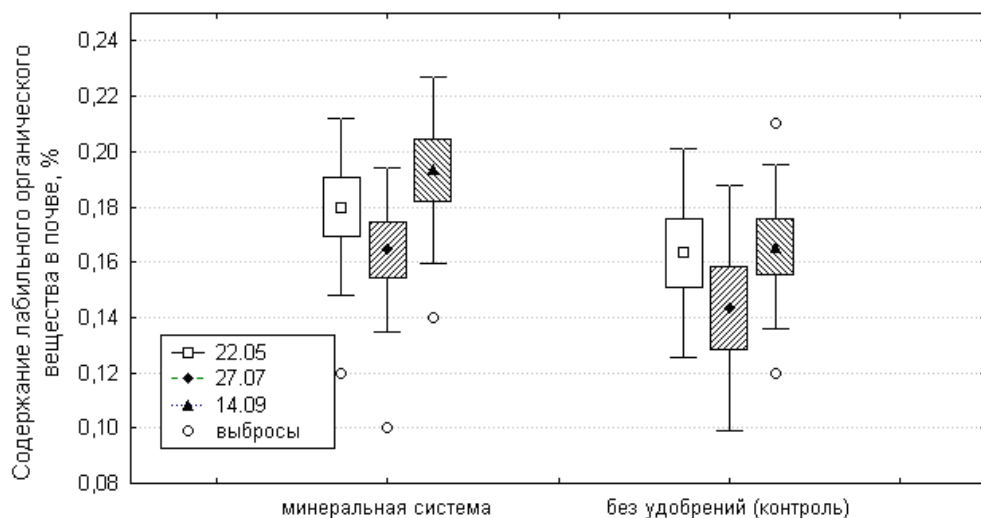


Рис. 1. Динамика содержания лабильного органического вещества в длительном удобряемом и удобряемом черноземе оподзоленном

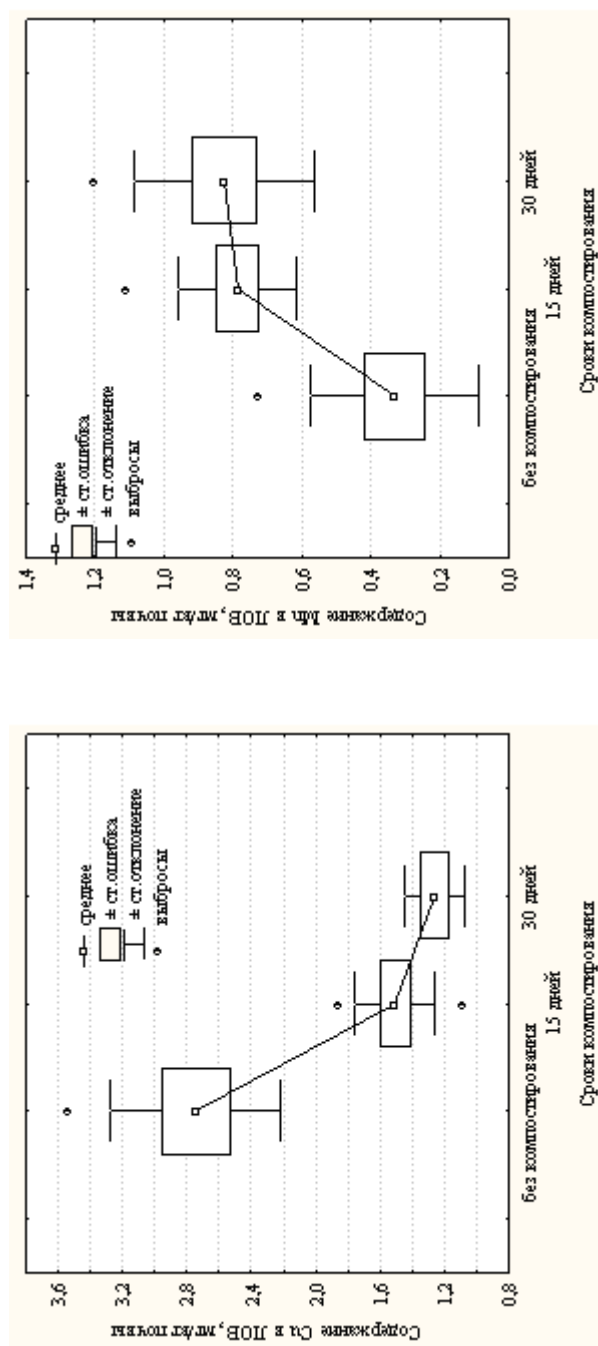


Рис. 2. Изменение содержания меди (слева) и марганца (справа) в лабильном органическом веществе чернозема оподзоленного при его компостировании при 27 °C и 60 % от НВ

Для выяснения вопроса об оптимальном сроке компостирования почвы в целях определения мобилизационно-иммобилизационной способности были проведены соответствующие эксперименты на черноземе оподзоленном. Содержание МЭ в почве и лабильном органическом веществе определяли на 15-е и 30-е сутки после закладки компостируемых проб в термостат. Измерения показали, что наибольший сдвиг концентрации МЭ в лабильном органическом веществе происходит в течении первых 15 суток (рис. 2). Содержание меди и цинка имело тенденцию к снижению, а марганца и кобальта – к увеличению [12]. Следовательно, можно предположить, что в данном случае Cu, Zn-органические комплексы разлагаются легче, чем Mn,Co-органические, а продукты их разложения менее активно вовлекаются в микробный метаболизм.

ВЫВОДЫ

1. Лабильное органическое вещество играет роль ближайшего резерва микроэлементного питания растений, во многом определяя содержание и динамику подвижных форм микроэлементов в почве.
2. Вовлечение чернозема в обработку приводит к значительному снижению содержания лабильного органического вещества, в составе которого резко увеличивается массовая часть микроэлементов.
3. Длительное применение минеральных удобрений способствует обогащению лабильного органического вещества почвы медью и железом, но их общее количество меняется мало. Внесение навоза, наоборот, способствует новообразованию лабильного гумуса, имеющего меньшее относительное содержание Co, Cu, Fe и Zn.
4. Изменения микроэлементного состава почвы и ее лабильного органического вещества, вызванные микробиологической деятельностью, не менее значимы, чем связанные с системой удобрения и севооборотом, и могут проявляться в течении всего вегетационного периода. Способность почвы к мобилизации/иммобилизации микроэлементов из органического вещества можно оценить при помощи соответствующего показателя, определяемого аналогично нитрификационной способности по С.П. Кравкову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: АН СССР, 1957. – 238 с.
2. Минкина, Т.М. Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны / Т.М. Минкина, Г.В. Мотузова, О.Г. Назаренко // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 810–818.
3. Летунова, С.В. Накопление меди, свинца и молибдена биомассой почвенных микроорганизмов в условиях биогеохимической провинции Южного Урала / С.В. Летунова, В.В. Ковальский, И.Ф. Грибовская // Агрохимия. – 1976. – № 3. – С. 92–96.
4. Тейт, Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. – М.: Мир, 1991. – 400 с.

2. Плодородие почв и применение удобрений

5. Борисов, Б.А. Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России / Б.А. Борисов, Н.Ф. Ганжара // Почвоведение. – 2008. – № 9. – С. 1071–1078.
6. Фокин, А.Д. Микробиологическая деструкция органического вещества как фактор мобилизации труднорастворимых минеральных соединений / А.Д. Фокин, А.И. Карпукhin, П.А. Раджабова // Известия ТСХА. – 1996. – Вып. 3. – С. 97–104.
7. Reicosky, D.C. Soil quality, tillage intensity and CO₂ emission from soil / D.C. Reicosky // Scientist, USDA-Agricultural Research Service, North Central Soil Conservation Research Laboratory, 803 Iowa Avenue, Morris, MN 56267 USA. – 2009.
8. Environmental Protection in the Ukraine Agroecosystems in Technogenesis Conditions / M.V. Zubets [et al.] // Environmental Protection in Agroecosystems: proc. of Meeting of the Union of European Agrarian Academies, Yalta, 16–17 May, 2007. – Kyiv: Agrarna nauka, 2007. – Pp. 9–58.
9. Ладонин, Д.В. Взаимодействия гуминовых кислот с тяжелыми металлами / Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 1997. – № 7. – С. 806–811.
10. Исследование динамики из гумусного горизонта почв горных лугов и лесов Моравско-Силезских Бескид / В. Вранов [и др.] // Почвоведение. – № 1. – 2004. – С. 71–74.
11. Химические основы буферности почв / Т.А. Соколова [и др.]. – М.: МГУ, 1991. – 108 с.
12. Ликова, О.А. Динаміка вмісту мікроелементів у доступній (лабільній) органічній речовині за сприятливих умов зволоження та температури / О.А. Ликова // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2011. – № 76. – С. 49–53.

LABILE ORGANIC MATTER AS A FACTOR MOBILIZATION-IMMOBILIZATION OF TRACE ELEMENTS IN SOILS

E.A. Lykova, M.M. Miroshnychenko, O.S. Panasenکو, O.P. Syabruk

Summary

The article presents data on changes in trace element composition in chernozems soils of Left-bank Forest-steppe zone of Ukraine and labile organic matter under the influence of the soil plowing, long-term using of fertilizers and crop rotations. Determined that treatment of chernozem soil bring to a significant reduction of the labile organic matter content, in composition sharply occurs increases mass fraction trace element. Prolonged use of fertilizers contributes to the enrichment of labile soil organic matter with copper and iron, while when contributing manure, on the contrary, contained relatively less trace elements. Ability of the soil to the mobilization/immobilization of trace elements from organic matter by microorganisms could assessed by the indicator, which are, defined similarly nitrification capacity.

Поступила 10.04.13