

УДК 631.8:631.416.9:631.417:631.445.4

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МОРТМАССЕ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЫ

© 2022 г. Н. А. Воронкова<sup>1</sup>, В. А. Волкова<sup>1,\*</sup>, Н. Ф. Балабанова<sup>1</sup>, Н. А. Цыганова<sup>1</sup><sup>1</sup>Омский аграрный научный центр 644012 Омск, ул. Королёва, 26, Россия

\*E-mail: volkovava1989@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022 г.

После доработки 07.07.2022 г.

Принята к публикации 12.08.2022 г.

В длительном стационарном опыте на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Западной Сибири установлено, что содержание Cu, Zn, Mn, Ni, Co в мортмассе лабильной фракции органического вещества почвы аналогично содержанию их в почве. Доля этих элементов в общем микроэлементном фонде почвы составила не более 0.5%. Выявлено, что в мортмассе доля Cu составила 18–42, Zn – 21–28, Ni – 13–19% от их количеств, находящихся в почве в подвижной форме. Установлено, что в мортмассе содержание Cu, Zn, Co находилось в тесной взаимосвязи ( $r = 0.94–0.95$ ) с содержанием подвижных форм этих элементов в почве, а содержание Mn и Ni – с содержанием их кислоторастворимых форм ( $r = 0.80–0.93$ ). При внесении минеральных удобрений и соломы отмечена положительная тенденция к увеличению содержания этих микроэлементов в мортмассе лабильной фракции органического вещества почвы.

**Ключевые слова:** микроэлементы, мортмасса, лабильная фракция, органическое вещество почвы, удобрения.

**DOI:** 10.31857/S0002188122110102

### ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров – один из важных резервуаров микроэлементов на планете, источником которых являются первичные минералы почвообразующих пород, а их биохимическую активность определяет органическое вещество почвы (ОВП). Существует общепринятое мнение, что ОВП полифункционально, т.к. от его количества и качества зависит питательный, водный, воздушный и тепловой режимы почвы; и поликомпонентно, т.к. выделяют ряд его пулов и фракций. ОВП условно делится на 3 пула: стабильное, лабильное и инертное. Лабильная фракция (ЛФ) состоит из остатков биоты разной степени разложения и их продуктов [1, 2]. По мере усиления переработанности почвенной микрофлорой, вещество ЛФ можно расположить в ряд: мортмасса, детрит, подвижный гумус. Мортмасса представляет собой часть ЛФ, которая практически не затронута процессом микробиологической переработки. Кроме того, она является субстратом и центром микробной активности почвы, легко разлагается почвенной микрофлорой, вовлекая в кругооборот биологически значимые элементы, в том числе и микроэлементы [3]. Закономерности влияния гумусных веществ на трансформацию и

аккумуляцию микроэлементов в ОВП представлены в работах [4–8] и многих других. Ими детально исследована кинетика органо-минеральных взаимодействий органического вещества почвы с микроэлементами. Установлено, что этот сложный химический процесс зависит от множества абиотических факторов (почвы, климата и т.п.), биотических (вид растения, сорт и т.п.) и агрогенных (системы применения удобрения, обработки почвы и т.п.). Вместе с тем при оценке микроэлементного статуса почвы ранее в работах преимущественно оценивали лишь способность ОВП к депонированию тяжелых металлов, а его функционал, как резерв подвижных биологически значимых микроэлементов, зачастую не рассматривали. В связи с этим цель работы – изучение микроэлементного состава мортмассы ЛФ органического вещества лугово-черноземной почвы в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2019–2021 гг. в длительном стационарном опыте (год закладки – 1988) на опытном полигоне лаборатории агрохи-

**Таблица 1.** Агрохимическая характеристика почвы опытного участка (слой 0–20 см)

Содержание углерода, %	рН	Сумма обменных катионов, ммоль/100 г почвы	Состав ППК, %			Содержание, мг/кг						
						макроэлементов		микроэлементов				
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Ni	Co	Zn	Mn
3.72–3.84	6.4–6.7	32.1	88	11	<1	105–128	350–450	24	30	15	60	680

мии Омского аграрного научного центра в Сибирском Федеральном округе Российской Федерации. Территориально опытный участок размещен на Евразийском континенте (географическая привязка 55°01' с.ш. и 73°23' в.д.) в лесостепной зоне Западно-Сибирской низменности. Климат региона – типично континентальный с продолжительной зимой и коротким жарким летом, поздними весенними и ранними осенними заморозками. Западно-Сибирская низменность с запада ограждена Уральским хребтом, с востока – Средне-Сибирским нагорьем, совершенно открыта с севера и мало защищена с юга. В результате этого на территорию свободно вторгаются холодные арктические воздушные массы и теплые сухие из пустынь и степей Казахстана и Средней Азии. Характерными показателями температурных условий лесостепной зоны Западной Сибири являются: холодная и суровая зима, жаркое лето, ветреная и сухая весна, непродолжительная осень, короткий безморозный период, резкие колебания температуры от месяца к месяцу, от одних суток к другим и даже в течение суток. Годовая амплитуда температуры воздуха достигает 80–90°C, что подчеркивает резкую континентальность местного климата. Среднегодовое количество

осадков в южной лесостепи Омской обл. составляет 300–320 мм.

Объект исследования – лугово-черноземная среднемошная среднегумусовая тяжелосуглинистая почва. Эта почва является полугидроморфным аналогом черноземов. Формируется под травянистой растительностью в лесостепной и лугово-степной зоне в условиях повышенного увлажнения за счет почвенно-грунтовых вод, залегающих на глубине 3–6 м [9]. Территория опытного участка расположена в области четвертичных аллювиальных равнин. Почвообразующие породы представлены палево-бурыми тяжелыми глинами и суглинками. Характеристика почвы опытного участка представлена в табл. 1.

Исследование проводили на основе 6-польного зернотравяного севооборота, развернутого во времени и в пространстве, со следующим чередованием культур: люцерна 3-х лет вегетации – яровая пшеница – яровая пшеница – овес. Оценку содержания органического вещества и микроэлементов проводили перед посевом пшеницы после люцерны.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь элементарной делянки – 200 м<sup>2</sup> (10 × 20), учетной – 36 м<sup>2</sup> (1.8 × 20). Повторность опыта четырехкратная. Изучали следующие факторы (табл. 2): применение минеральных удобрений (фактор *A*) – без удобрений, N10P17, N15P23 (на 1 га севооборотной площади); использование соломы (фактор *B*) – без соломы (солому удаляли механически комбайном с копнителем), внесение соломы зерновых культур после уборки в количестве, соответствующем урожаю (1.68–2.20 т/га).

В качестве минеральных удобрений использовали N<sub>аа</sub> (содержание азота 34%) и АФ (содержание фосфора – 52, азота – 12%). Удобрения внесли весной до посева локально сеялкой на глубину 6–8 см. Солому зерновых культур измельчали при уборке и оставляли в поле в коли-

**Таблица 2.** Система применения минеральных удобрений в зернотравяном севообороте

Культура	Система удобрения		
	без удобрений	N10P17	N15P23
Люцерна	–	P60	P60
Яровая пшеница	–	–	–
Яровая пшеница	–	N30P40	N60P40
Овес	–	N30	N30P40

**Таблица 3.** Содержание общего углерода почвы и лабильной фракции ОВП в зависимости от системы применения удобрений

Вариант	Содержание углерода, %		Доля углерода ЛФ от содержания углерода почвы, %	Запасы ЛФ, т/га
	почвы (общее)	лабильной фракции ОВП		
Контроль (без удобрений)	3.91	0.07	1.74	9.1
Солома	3.90	0.08	2.15	10.2
N10P17	4.00	0.10	2.40	11.4
N10P17 + солома	4.00	0.12	2.88	12.5
N15P23	4.08	0.11	2.68	12.1
N15P23 + солома	4.08	0.13	3.09	13.5
HCP <sub>05</sub>	0.12	0.04	—	2.3

честве, соответствующем ее урожаю с последующей заделкой.

В опыте высевали районированные сорта сельскохозяйственных культур: яровую мягкую пшеницу (*Triticum aestivum*) сорта Омская 36, овес (*Avena sativa*) сорта Иртыш 22, люцерну (*Medicago sativa*) сорта Флора 8. Посев и учет урожайности культур проводили в оптимальные сроки. Агротехника возделывания культур – общепринятая для зоны. Метеорологические условия в течение периода исследования различались по тепло- и влагообеспеченности. Вегетационный период 2019 г. был близким по всем показателям к среднелетним нормам. Погодные условия 2020 и 2021 гг. были засушливыми.

Для решения поставленной цели в почвенных образцах определяли следующие показатели: общий углерод – по Тюрину в модификации Никитина, запасы углерода лабильной фракции – путем отмывки негумифицированного органического вещества водой на сите с диаметром ячеек 0.25 мм. Кислоторастворимые формы микроэлементов (>90% от содержания общего фонда микроэлементов в почве) экстрагировали 5М HNO<sub>3</sub> в течение 3-х ч на водяной бане при температуре 100°C, объем экстракта 50 мл, масса почвы 2 г. Подвижные формы (доступные для растений) определяли в 1 н. ацетатно-аммонийном буфере при pH 4.8 после отстаивания пробы почвы (10 г) в течение 24 ч, объем фильтрата 100 мл. Содержание микроэлементов в ЛФ определяли после сухого озоления при температуре 525 ± 25°C с последующим растворением сухого остатка золы в 50%-ном растворе HNO<sub>3</sub> в течение 1 ч на водяной бане при температуре 100°C, объем экстракта 50 мл, масса навески 2 г. Конечное определение

элементов проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре Varian 140.

Данные обработаны дисперсионным и корреляционным методами статистического анализа с использованием программы Statist.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Длительное землепользование, применение агрохимических средств интенсифицируют минерализационные процессы в почве, тем самым ускоряя процесс высвобождения биофильных элементов [10], в том числе и микроэлементов. Известно, что ОВП имеет химически реакционную природу, оно активно образует органо-минеральные соединения, выполняя тем самым функцию геохимического барьера, а также источника микроэлементов, жизненно необходимых для роста и развития живых организмов [11]. При исследовании почвенных проб опытного участка установлено, что в варианте без применения удобрений содержание почвенного углерода было на уровне 3.91% (табл. 3). Систематическое внесение минеральных удобрений повысило содержание углерода на 0.09–0.18%. Новообразование ОВП было обусловлено большим поступлением растительных и корнепоживных остатков в этих вариантах в сравнении с контрольным.

Одним из важных критериев оценки эффективного плодородия является содержание углерода мортмассы ЛФ. Содержание углерода мортмассы ЛФ в удобренном варианте составило 0.07%, в удобренных вариантах оно варьировало от 0.10 до 0.13%. Следует отметить, что углерод мортмассы ЛФ составлял не более 4% от общего углерода в почве. Оптимизация минерального

**Таблица 4.** Содержание микроэлементов в почве (слой 0–20 см) в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы, мг/кг

Вариант	Содержание микроэлементов									
	кислоторастворимые формы					подвижные формы				
	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль (без удобрений)	16.81	49.67	562.47	40.66	13.26	0.19	0.94	75.92	1.15	0.85
Солома	18.99	53.86	565.32	44.92	17.02	0.24	0.96	77.88	1.17	0.88
N10P17	16.65	47.55	554.7	41.46	13.87	0.20	0.80	86.29	1.14	0.52
N10P17 + солома	17.28	53.79	574.9	42.12	14.82	0.18	0.99	87.41	1.16	0.55
N15P23	17.26	47.50	557.53	41.9	13.51	0.41	0.85	88.55	1.49	0.57
N15P23 + солома	18.63	48.23	571.78	46.68	15.65	0.39	0.88	89.00	1.26	0.58

питания в севообороте за счет применения минеральных удобрений и соломы повысила обогащенность почвы лабильной фракцией ОВП на 8–38%, при этом прирост определялся видом и дозой удобрения. При систематическом использовании соломы в дозах 1.68–2.20 т/га в качестве удобрения отмечена лишь тенденция (1.1–1.4 т/га) к увеличению запасов мортмассы ЛФ в почве вследствие невысокого урожая соломы. Существенным фактором, влияющим на содержание мортмассы ЛФ ОВП, были минеральные удобрения. В работе [12] также было высказано мнение, что под влиянием агрохимических средств оптимизировался питательный режим растений, создавались благоприятные условия для развития более мощной корневой системы и растения в целом, обеспечивая в итоге поступление большего количества растительных остатков в почву. На агрохимических фонах (N10P17 и N15P23) количественные запасы мортмассы ЛФ ОВП составили соответственно 11.4 и 12.1 т/га, что было на 25 и 33% больше в сравнении с вариантом без удобрений. Наибольшее ее количество накопилось в варианте комплексного применения удобрений N15P23 + + солома – 13.5 т/га, что было на 48% больше, чем на неудобренном фоне. В соответствии с проведенными ранее исследованиями [13], ЛФ ОВП представляет собой достаточно ценный компонент почвы по содержанию эссенциальных элементов, определяющий урожайность агроценоза ( $r = 0.90$ ).

Для решения поставленной цели в работе нами были также проанализированы почвенные образцы на содержание в них кислоторастворимых и подвижных форм Cu, Zn, Mn, Ni и Co (табл. 4).

По данным [14], почвы мира имеют следующие содержания микроэлементов, мг/кг сухой почвы: Cu – от 6 до 60 при фоновом содержании 30 мг/кг, ее кларк по Виноградову [15] в почвах мира составляет 20 мг/кг; Zn – от 30 до 80, фоновое и кларковое содержание 50 мг/кг; Co – от 1 до 16, фоновое содержание 2 мг/кг, его кларк 8 мг/кг; Ni – от 12 до 80, фоновое содержание и его кларк 40 мг/кг; Mn – от 10 до 2500, общее среднее содержание, рассчитанное для почв земного, составляет 545 мг/кг, кларк 850 мг/кг. Ориентируясь на фоновое содержание элементов в почве, следует отметить, что лугово-черноземная почва достаточно хорошо обеспечена вышеуказанными микроэлементами, за исключением Cu. Анализ содержания кислоторастворимых форм микроэлементов в почве показал, что внесение минеральных удобрений не оказало существенного влияния на пополнение их общего запаса. Однако положительную тенденцию к увеличению содержания кислоторастворимых форм микроэлементов отметили при внесении соломы для всей группы микроэлементов. Обогащение верхнего горизонта почвы микроэлементами происходило за счет эффекта переноса элементов корневой системой из более нижних слоев почвенного профиля. Содержание подвижных форм микроэлементов в слое 0–20 см почвы варьировало в широком интервале от 0.19 мг Cu/кг почвы и до 75.92 мг Mn/кг почвы в варианте без применения удобрений. В соответствии с оценкой обеспеченности почвы подвижными формами микроэлементов в ацетатно-аммонийном буфере (рН 4.8) содержание Cu изменялось от низкого (<0.20 мг/кг почвы) до среднего (0.24–0.41 мг/кг почвы). Содержание Zn во всех вариантах было

**Таблица 5.** Содержание микроэлементов в мортмассе лабильной фракции ОВП в зависимости от применения минеральных удобрений и соломы, мг/кг

Вариант	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль	14.67	46.38	399.14	35.14	5.61
Солома	12.32	44.01	408.43	39.03	5.88
N10P17	12.28	32.74	385.17	41.81	4.58
N10P17 + солома	13.12	43.04	413.29	38.60	5.41
N15P23	11.29	41.67	400.71	38.57	5.35
N15P23 + солома	11.64	39.77	411.12	37.45	5.89

низким (<2.0 мг/кг), Mn и Co – высоким (>20 и 0.3 мг/кг соответственно). Содержание подвижного Ni не оценивали как фактор обеспеченности для растений. При использовании удобрений в дозе N15P23 как отдельно, так и в комплексе с соломой, содержание подвижных форм Cu, Mn, Ni в почве возросло, что можно объяснить влиянием удобрений на изменение некоторых физико-химических свойств почв, способствующих переходу этих элементов из труднодоступных в легкоподвижные соединения. Для почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, это явление весьма распространенное и прежде всего связано с неравным поступлением и выносом микроэлементов в системе почва–растение.

Мортмасса ЛФ органического вещества имеет относительно быструю скорость оборота и короткое время пребывания в почве [3, 11]. В связи с этим она играет роль ближайшего резерва микроэлементного питания растений, во многом определяя содержание и динамику подвижных форм

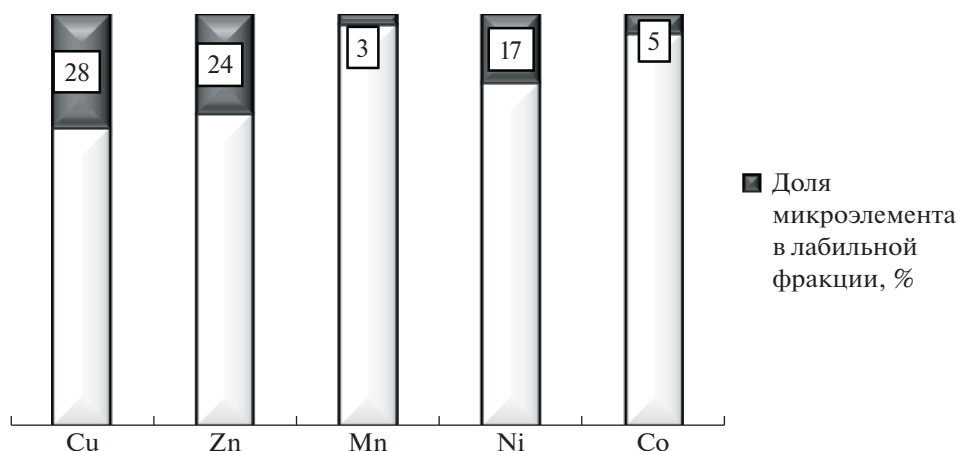
**Таблица 6.** Доля микроэлемента в мортмассе ЛФ от содержания его в почве, %

Вариант	Cu	Zn	Mn	Ni	Co
Контроль	0.4/27	0.4/22	0.5/2	0.4/13	0.2/3
Солома	0.3/31	0.4/22	0.5/3	0.4/16	0.2/3
N10P17	0.4/32	0.3/21	0.5/2	0.5/19	0.2/5
N10P17 + солома	0.4/42	0.5/25	0.5/3	0.5/19	0.2/6
N15P23	0.4/15	0.5/27	0.5/3	0.5/14	0.2/5
N15P23 + солома	0.4/18	0.5/28	0.5/3	0.5/18	0.2/6

Примечание. Над чертой – доля микроэлемента в мортмассе ЛФ от содержания его кислоторастворимых форм в почве, под чертой – доля микроэлемента в мортмассе ЛФ от содержания его подвижных форм в почве.

микроэлементов в почве [7]. В нашем исследовании анализ мортмассы ЛФ на содержание микроэлементов показал, что их количественные параметры были аналогичны их содержанию в почве, за исключением Co. Содержание Co в мортмассе ЛФ ОВП в среднем было в 2.7 раза меньше, чем в почве. Для объяснения транслокации данного элемента требуются дополнительные исследования, т.к. низкий уровень биоаккумуляции Co в растениях мог быть обусловлен биологическими особенностями культуры, типом почвы, геохимией элементов и другими факторами.

Изучение содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ в вариантах опыта показало определенные различия. Например, в контрольном варианте обнаружили на 12–29% больше Cu, на 4–42% больше Zn, чем в вариантах с внесением соломы и минеральных удобрений (табл. 5).

**Рис. 1.** Доля содержания микроэлементов в мортмассе лабильной фракции от общего запаса (100%) доступных для растений микроэлементов в почве (среднее в опыте).

**Таблица 7.** Коэффициенты корреляции содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ ( $Y$ , мг/кг) от содержания их в почве ( $X$ , мг/кг)

Микро-элемент	$r$	
	с кислоторастворимыми формами микроэлемента в почве	с подвижными формами микроэлемента в почве
Cu	0.48*	0.95*
Zn	0.52*	0.93*/0.81**
Mn	0.93*/0.90**	0.34*
Ni	0.80*	0.32*
Co	0.61*	0.84*/0.57**

\*Коэффициенты полиномиальной корреляции.

\*\*Коэффициенты линейной корреляции.

Содержание Mn, Ni и Co не зависело от вариантов опыта и варьировало незначительно – от 385.17 до 413.29 мг Mn/кг, от 35.14 до 41.81 мг Ni/кг и от 4.58 до 5.89 мг Co/кг. Оценка вклада микроэлементов мортмассы ЛФ в фонд кислоторастворимых форм микроэлементов показала, что мортмасса ЛФ в зависимости от вариантов опыта содержала Cu – 0.3–0.4, Zn – 0.3–0.5, Mn – 0.5, Ni – 0.4–0.5% и Co – 0.2% (табл. 6).

Следует отметить, что в мортмассе доля Cu составляла 18–42, Zn – 21–28, Ni – 13–19% от их количества, находящегося в почве в подвижной форме, тогда как доля Mn и Co в общем запасе доступных для растений соединений составила не более 6% (рис. 1).

В табл. 7 представлен расчет корреляционных зависимостей содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ от содержания их в почве. Установлено, что содержание Cu, Zn и Co в мортмассе ЛФ зависело ( $r = 0.84–0.95$ ) от обеспеченности почвы подвижными формами этих элементов, Mn и Ni – от содержания кислоторастворимых форм в почве ( $r = 0.80–0.90$ ). Систематическое внесение минеральных удобрений N15P23 в комплексе с запашкой соломы способствовало обогащению мортмассы ЛФ ОВП Zn на 6, Ni – на 5, Co – на 3% в сравнении с контролем. При изучении причинно-следственных связей между обеспеченностью мортмассы ЛФ микроэлементами и ее запасами в почве выявлено, что связь была средней или отсутствовала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты позволили сделать вывод, что мортмасса ЛФ ОВП является резервом минерального питания расте-

ний. Содержание Cu, Zn, Mn, Ni и Co в мортмассе ЛФ было аналогично их содержанию в почве. Концентрация Cu, Zn и Co в ЛФ зависела от содержания подвижных форм этих элементов в почве, Mn и Ni – от кислоторастворимых форм. Доля микроэлементов в мортмассе ЛФ от общего микроэлементного фонда почвы составляла не более 0.5%. Выявлено, что из общего запаса в почве доступных для растений элементов 13–42% Cu, 21–28% Zn и 13–19% Ni составляли их запасы в мортмассе ЛФ. При внесении минеральных удобрений и соломы отмечена тенденция к увеличению содержания микроэлементов в мортмассе ЛФ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kroll E.S., Okjemstad J.O., Baldock J.A.* Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Canberra, ACT: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2004. 129 p.
2. *Шарков И.Н., Данилова А.А.* Влияние длительного антропогенного воздействия на содержание и состав органического вещества чернозема выщелоченного в лесостепи Приобья // Сибир. экол. журн. 2012. № 5. С. 693–701.
3. *Strosser E.* Methods for determination of labile soil organic matter: An overview // J. Agrobiol. 2010. № 27. P. 49–60.
4. *Степанова М.Д.* Микроэлементы в органическом веществе почв. Новосибирск: Наука, СО, 1976. 107 с.
5. *Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г.* Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 810–818.
6. *Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Borová-Batt J., Peterka J.* Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality // Plant Soil Environ. 2009. № 55. P. 245–251.
7. *Лыкова Е.А., Мирошниченко Н.Н., Панасенко О.С., Сябрук О.П.* Лабильное органическое вещество как фактор мобилизации–иммобилизации микроэлементов в почве // Почвовед. и агрохим. 2013. № 1. С. 256–265.
8. *Glina B., Bogacz A.* Concentration and pools of trace elements in organic soils in the izera mountains // J. Elem. 2013. № 18. P. 199–209.
9. *Мищенко Л.Н., Мельников А.Л.* Почвы Западной Сибири: учеб. пособ. Омск: Изд-во ОмскГАУ, 2007. 248 с.
10. *Kebonye N.M., Eze P.N., Ahado S.K., John K.* Structural equation modeling of the interactions between trace elements and soil organic matter in semiarid soils // Inter. J. Environ. Sci. Technol. 2020. № 17. P. 2205–2214.
11. *Lorenz K., Lal R.* The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons // Adv. Agron. 2005. № 88. P. 35–66.
12. *Шарков И.Н., Самохвалова Л.М., Мишина П.В., Шенелев А.Г.* Влияние пожнивных остатков на состав органического вещества чернозема выщелоченного

- ченного в лесостепи Западной Сибири // Почвоведение. 2014. № 4. С. 473–479.
13. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении удобрений // Земледелие. 2020. № 2. С. 7–9.
14. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва–растение–удобрение. М.: Высш. шк., 1997. 290 с.
15. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

## Effect of Fertilizers on the Content of Trace Elements in the Mortmass of Meadow-Chernozem Soil

N. A. Voronkova<sup>a</sup>, V. A. Volkova<sup>a,#</sup>, N. F. Balabanova<sup>a</sup>, and N. A. Tsyganova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Omsk Agrarian Scientific Center, ul. Koroleva 26, Omsk 644012, Russia

<sup>#</sup>E-mail: volkovava1989@yandex.ru

In a long-term stationary experiment on meadow-chernozem soil of the forest-steppe zone of Western Siberia, it was found that the content of Cu, Zn, Mn, Ni, Co in the mortmass of the labile fraction of soil organic matter is similar to their content in the soil. The share of these elements in the total microelement fund of the soil was no more than 0.5%. It was revealed that in the mortmass, the proportion of Cu was 18–42, Zn – 21–28, Ni – 13–19% of their amounts in the soil in mobile form. It was found that in the mortmass the content of Cu, Zn, Co was in close relationship ( $r = 0.94–0.95$ ) with the content of mobile forms of these elements in the soil, and the content of Mn and Ni – with the content of their acid-soluble forms ( $r = 0.80–0.93$ ). When applying mineral fertilizers and straw, there was a positive trend towards an increase in the content of these trace elements in the mortmass of the labile fraction of soil organic matter.

*Key words:* trace elements, mortmass, labile fraction, soil organic matter, fertilizers.