

УДК 631.81:502.6]:631.445.4

UDC 631.81:502.6]:631.445.4

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ Mn, Cu, Zn, Co, Pb И Cd В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО АЗОВО-КУБАНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

ABOUT DISTRIBUTION OF CONNECTIONS OF Mn, Cu, Zn, Co, Pd AND Cd IN THE SOIL PROFILE OF THE BLACK LEACHED SOIL OF THE AZOV-KUBAN LOWLAND

Гайдукова Нина Георгиевна
к.х.н., профессор

Gaydukova Nina Georgiyevna
Cand.Sci.Chem., professor

Терпелец Виктор Иванович
д.с.-х.н., профессор

Terpelets Victor Ivanovich
Dr.Sci.Agr., professor

Баракин Николай Сергеевич
магистрант

Barakin Nikolay Sergeyeovich
postgraduate student

Шабанова Ирина Вячеславовна
к.х.н., доцент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Shabanova Irina Vyacheslavovna
Cand.Sci.Chem., associate professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматривается влияние агротехнологий возделывания полевых культур на почвенные показатели и распределение тяжелых металлов по горизонтам чернозёма выщелоченного. Выявлены закономерности распределения валовых и подвижных форм марганца, цинка, свинца, кобальта, меди и кадмия по генетическим горизонтам чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности

In this article the influence of agrotechnologies of cultivation of field cultures on soil indicators and distribution of heavy metals on the horizons of the black leached soil is considered. Regularities of distribution of gross and mobile forms of manganese, zinc, lead, cobalt, copper and cadmium on the genetic horizons of the black leached soil of the Azov-Kuban lowland are revealed

Ключевые слова: ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ГОРИЗОНТ, ЧЕРНОЗЁМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, ГУМУС, АКТУАЛЬНАЯ И ОБМЕННАЯ КИСЛОТНОСТЬ

Keywords: HEAVY METALS, GENETIC HORIZON, BLACK LEACHED SOIL, HUMUS, ACTUAL AND EXCHANGE ACIDITY

Марганец (Mn), медь (Cu), цинк (Zn), кобальт (Co), свинец (Pb) и кадмий (Cd) относятся к элементам, содержание которых в почвах измеряется величинами в пределах $n \cdot 10^{-2}$ – $n \cdot 10^{-6}$ %. Микроэлементы занимают особое место в химии почв, так как участвуют в почвенных биохимических процессах накопления, трансформации и переноса органических соединений в экосистеме, выполняя важную физиологическую роль в жизни растений. От их содержания в почвах зависит урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность животных, здоровье человека. Трудными многих отечественных и зарубежных учёных установлено, что в зависимости от концентрации микроэлементов в почве, они могут играть и положительную, и отрицательную роль [1-3].

Во второй половине 20-го века особое значение приобрело загрязнение биосферы тяжёлыми металлами, в перечень которых входит большинство микроэлементов. В программе ООН по мониторингу окружающей среды (ЮНЕП) к наиболее опасным элементам в почве отнесены: Pb, Cd, Hg, Zn, Cu, Sn, V, Cr, Mo, Co, Ni, As, Sb, Se [3]. В этот перечень вошли и важнейшие микроэлементы (Zn, Cu, V, Cr, Mo, Co, Ni), так как при превышении фоновых значений концентрации их в пахотном слое почвы эти элементы рассматриваются как загрязняющие почву тяжёлые металлы. В России в качестве фоновых значений приняты «кларки» металлов, предложенные А. П. Виноградовым в 50-х годах прошлого века [1]. Для оценки степени опасности в почвах того или иного химического элемента разработаны нормативы содержания тяжёлых металлов и металлоидов в почвах [4]. Опасность тяжёлых элементов в чернозёмных почвах оценивают по критерию ПДК_{подв.} - предельно допустимая концентрация подвижных соединений, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером (рН 4,8). Однако единой научной концепции экологического нормирования почв в нашей стране ещё не выработано [5].

Нормативы должны учитывать хозяйственное назначение почв, химический состав и тип почвы. Чернозёмы Кубани – это, в основном, почвы сельскохозяйственного назначения. Учёными края ещё в 20-м веке много внимания было уделено исследованию содержания и распределения микроэлементов (Cu, Mo, Co, Mn, B, I) в породах, почвах, поверхностных водах и растениях [6]. Работы Тонконоженко Е. В. Выявили низкую обеспеченность почв Кубани подвижными соединениями меди, кобальта и молибдена. Исследования в этой области М. И. Корсуновой и А. Х. Шеуджена установили низкую обеспеченность пахотного слоя чернозёма выщелоченного подвижным цинком, среднюю – медью, высокую – марганцем и кобальтом [7,8]. Чернозём выщелоченный относится к почвам водного режима с периодически промывным типом, что может способствовать выще-

лачиванию химических элементов из верхних горизонтов в годы с повышенным количеством годовых осадков, и, наоборот, накоплению их в пахотном слое в засушливые годы. Выщелачивание микроэлементов из пахотного слоя имеет агрохимическое значение, а накопление – экологическое.

Согласно результатам исследований, проведенных в 90-е годы прошлого века, на территории Краснодарского края доминирующая роль в загрязнении почв принадлежит As, Pb, Zn и Hg, в меньшей степени - Cu, V, Cr, Mo, Co, Ni, Cd и другим элементам [9]. Допустимые уровни загрязнения для пахотных угодий и поселений не должны выходить за рамки медицинских нормативов предельно допустимых концентраций – ПДК. В таблице 1 представлены значения допустимых уровней качества суглинистых почв ($pH > 5,5$) сельскохозяйственного назначения [10,11].

Таблица 1. Допустимые уровни качества суглинистых почв и ПДК, мг/кг.

Элемент	Минимальный		Фоновый		ПДК	
	ВФ ¹	ПФ ²	ВФ	ПФ	ВФ	ПФ
Медь	4,0	0,5	30,0	4,0	50	5,0
Цинк	20,0	5,0	30,0	8,0	50	23,0
Кобальт	5,0	0,3	10,0	2,0	30,0	5,0
Свинец	5,0	–	26,0	1,2	20	6,0
Кадмий	–	–	0,3	–	2,0	–
Марганец	250	40	1260	80	1500	140
ВФ ¹ - валовое содержание; ПФ ² - подвижные формы.						

Большинство исследователей изучали содержание тяжёлых металлов в пахотном и подпахотном горизонтах почв различного назначения [9, 11-15]. Миграция тяжёлых элементов в почвенном профиле чернозема выщелоченного изучена мало, поэтому вопрос о внутрипрофильном распределении микроэлементов в почвах сельскохозяйственного назначения явля-

ется весьма актуальным. Почва является природным буфером, регулирующим перенос химических элементов, в т.ч. загрязняющих веществ, в грунтовые воды и далее в водоёмы. Особую опасность представляют актуально подвижные соединения тяжёлых металлов, способные непосредственно усваиваться растениями, переноситься водой в зоны аккумуляции. Характер распределения тяжёлых металлов в профиле почв сельскохозяйственного назначения имеет важное диагностическое, агрохимическое и экологическое значение.

Цель работы: изучить характер распределения марганца (Mn), меди (Cu), цинка (Zn), кобальта (Co), свинца (Pb) и кадмия (Cd) по профилю чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности в условиях земледелия; провести агроэкологическую оценку влияния удобрений на содержание и миграцию микроэлементов в почвенном профиле.

В задачи исследований входило изучение: водно-физических, химических и физико-химических свойств почвы по генетическим горизонтам; динамики валового содержания и подвижных соединений тяжёлых металлов в почвенном профиле и расчет элювиально-аккумулятивных коэффициентов элементов с целью прогнозирования возможного загрязнения почвы, продукции растениеводства и грунтовых вод тяжёлыми металлами.

Объекты и методы исследования.

Исследования проводились с 2010 по 2012 гг. в звене 11-польного зернотравяно-пропашного севооборота стационарного многофакторного опыта на опытном поле Кубанского госагроуниверситета со следующим размещением культур: 2010 г. – озимая пшеница, 2011 г. – яровой ячмень с подсевом люцерны; 2012г. – люцерна 2-го года жизни. Варианты опыта: 0 – без удобрений (контроль), 1 – НРК, дозы удобрений: озимая пшеница $N_{60}P_{30}K_{20}+N_{30}$ (в фазу колошения); яровой ячмень с подсевом люцерны $N_{20}P_{20}K_{20}+P_{30}K_{30}$; люцерна 2-го года $N_{15}P_{15}K_{15}$. Исследования проводились на фоне безотвальной (почвозащитной) обработки почвы. Сумма годовых

осадков в 2010, 2011 и 2012 гг. составила соответственно: 768, 840 и 643 мм, среднемноголетнее количество осадков – 643 мм. Промачивание почвы осадками обычно достигает глубины двух и более метров – до материнской породы. Для генетической характеристики почвы образцы отбрали из средней части горизонтов мощностью 10 см и из верхней части материнской породы.

Морфологическое описание генетических горизонтов: горизонт $A_{\text{пах}}$ – 0-20 см, пахотный, воздушно-сухой, слабо уплотнён, тёмно-серый, глинистый, крупнокомковатый, много корней; горизонт A – 20-56 см, гумусово-аккумулятивный, тёмно-серый, глинистый, комковатый, много корней, средне уплотнён, тонкопористый; горизонт AB_1 – 56-96 см, средняя часть гумусового слоя, слабо увлажнён и слабо уплотнён, тёмно-серый с буроватым оттенком, глинистый, комковатый, тонкопористый, корни растений, кротовины, переход постепенный по окраске; горизонт AB_2 – 96-146 см – нижняя часть гумусового слоя увлажнена, тёмно-серый с буроватым оттенком, средне уплотнён, корни растений, червoroины, переход постепенный по окраске; горизонт B – 146-190 см – переходный, увлажнён, неоднородно бурый с затёками гумуса, глинистый, непрочно комковатый, средне уплотнён, корни, червoroины, в нижней части горизонта карбонатная плесень, переход постепенный по окраске; горизонт C – 190 см и глубже, материнская порода, увлажнён, жёлто-бурый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, тонкопористый, карбонатная плесень, белоглазка, пятна $CaCO_3$. По гранулометрическому составу исследуется почва относится к легкоглинистой разновидности с содержанием физической глины по профилю от 63,9 до 59,1 %, илистых частиц от 39,9 до 33,5 %. Уровень обеспеченности валовыми запасами калия и фосфора достаточно высокий: K_2O 1,9 – 2,0%, P_2O_5 0,18-0,26% [16].

Для исследования химических свойств почвенных образцов применяли апробированные методы: гумус по Тюрину (ГОСТ 26213 – 91); кис-

лотность актуальную и обменную – потенциометрическим (ГОСТ 26423 – 85); содержание подвижных соединений тяжёлых металлов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии в групповой ацетатно-аммонийной вытяжке (рН 4,8); валовое содержание тяжёлых металлов – методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА). Аналитические данные обрабатывали методами математической статистики с использованием пакета программы Excel 5.0.

Результаты исследований и их обсуждение.

Динамика агрофизических свойств чернозема выщелоченного по профилю. В таблице 2 представлены результаты исследования химических и водно-физических свойств почвенных образцов из генетических горизонтов (вариант без удобрений – 0).

Таблица 2 – Химические и водно-физические свойства чернозёма выщелоченного по профилю (контроль)

Горизонт	Плотность, г/см ³	Гумус, %	рН (Н ₂ О)	Максимальная гигроскопичность (МГ), %	Влажность завядания, (ВЗ), %	Наименьшая влагоёмкость (НВ), %
A _{пах}	1,23	3,21	6,5	9,5	14,3	35,7
A	1,34	2,80	6,5	9,2	13,8	34,8
AB ₁	1,41	2,00	6,6	8,8	13,2	34,2
AB ₂	1,44	1,53	6,9	8,3	12,5	32,4
B	1,46	0,62	7,9	7,3	11,0	31,4
C	1,53	0,44	8,3	6,7	10,1	28,4

Реакция среды почвенного раствора в горизонтах А – АВ₂ – слабокислая и близка к нейтральной, в переходном горизонте В – слабощелочная в горизонте. В такой среде тяжёлые металлы слабоподвижны. Содержание гумуса невысокое даже в пахотном горизонте, поэтому степень образования прочных комплексов гумуса с тяжёлыми металлами бу-

дет небольшой. Однако высокое содержание илстых частиц будет способствовать их сорбции, закреплению в глинистых минералах.

На рисунке 1 показано изменение основных почвенно-морфологических по генетическим горизонтам изучаемой почвы.

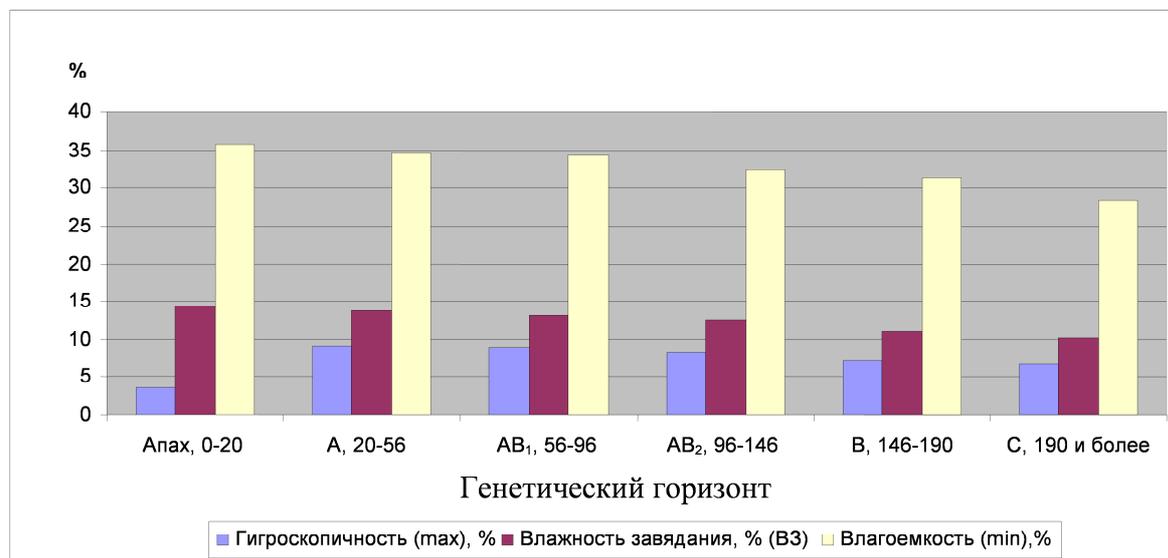


Рисунок 1 - Динамика почвенно-гидрологических констант по профилю чернозёма выщелоченного

Водно-физические свойства почв зависят от их гранулометрического состава, содержания гумуса, структурного состояния, пористости и плотности. Максимальная гигроскопичность чернозёма выщелоченного невысокая (< 10%), наименьшая влагоёмкость находится на среднем уровне, величина влажности устойчивого завядания средняя. Отрицательным свойством чернозёма выщелоченного является его набухание при избыточном увлажнении и образование корки с последующим растрескиванием при высыхании.

На рисунке 2 приведены результаты исследований актуальной и обменной кислотности почвенных образцов из генетических горизонтов.

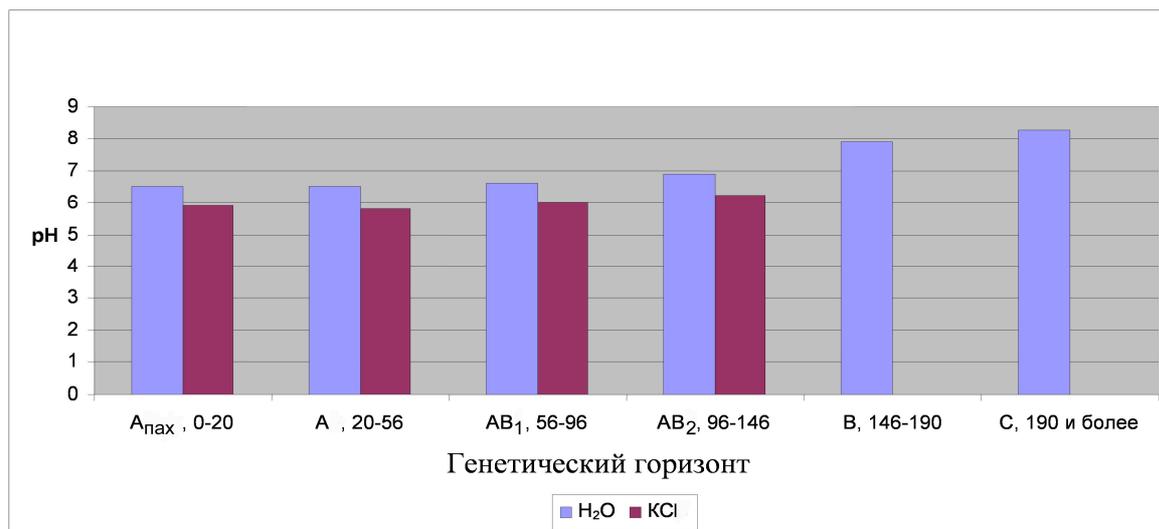


Рисунок 2 - Динамика актуальной и обменной кислотности в профиле чернозёма выщелоченного

Актуальная кислотность чернозёма выщелоченного по генетическим горизонтам уменьшается: реакция почвенного раствора изменяется от слабокислой (A_{пах}, A, AB₁) до нейтральной (AB₂), слабощелочной и щелочной (B), (C). Обменная кислотность (pH_{KCl}) существенно не изменяется вплоть до глубины 100 см: 5,9(A_{пах}) - 6,2 (AB₂).

Чернозём выщелоченный Западного Предкавказья относится к слабогумусным сверхмощным чернозёмам. Содержание общего гумуса в пахотном горизонте составляет 3,21 %, с глубиной его количество постепенно снижается и в горизонте C не превышает 0,4% (рис. 3). Соотношение между содержанием общего и легкоокисляемым гумусом сохраняется по всему профилю на уровне 1,28 -1,3.

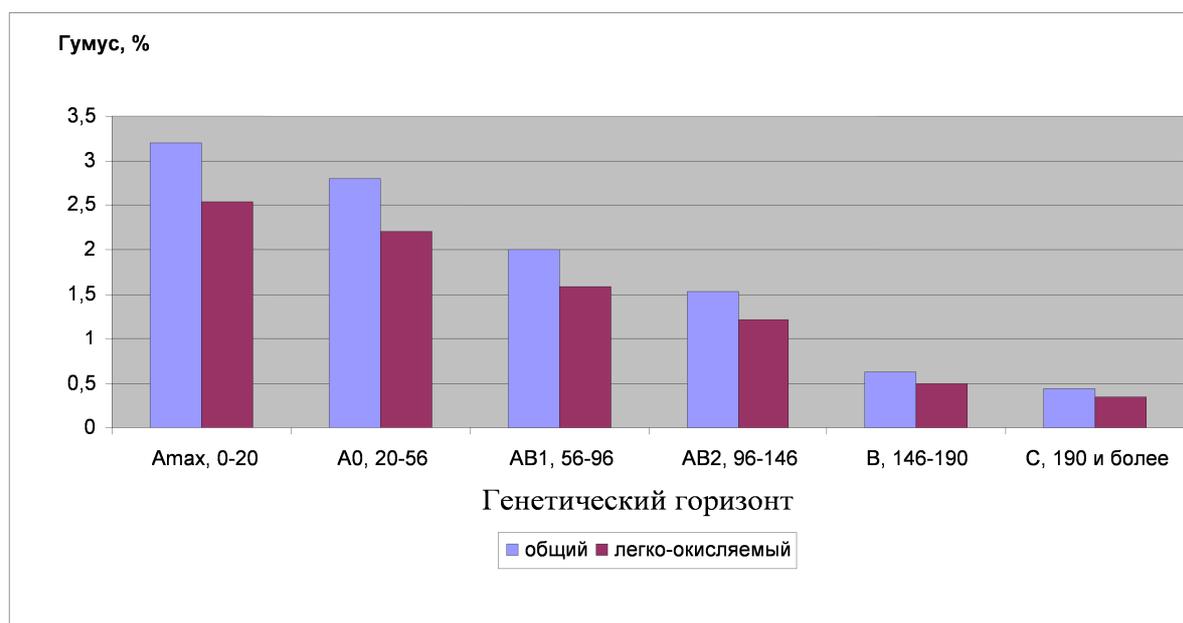


Рисунок 3 - Динамика общего и легкоокисляемого гумуса в профиле чернозёма выщелоченного

Содержание и распределение подвижных соединений Mn, Cu, Zn, Co, Pb и Cd в профиле чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности.

В таблице 3 приведены результаты исследований почвенных образцов на содержание подвижных соединений Mn, Cu, Zn, Co, Pb и Cd в контрольном варианте и в варианте с удобрениями (NPK- 1). Минеральные удобрения содержат примеси многих тяжёлых металлов, при этом примеси находятся в виде растворимых солей - нитратов, хлоридов, сульфатов. Внесение удобрений вызывает накопление подвижных соединений этих элементов в пахотном горизонте [13,14]. Для оценки степени накопления их в генетических горизонтах были рассчитаны коэффициенты накопления (КН): $КН = c_{yд} / c_0$, где $c_{yд}$ и c_0 - концентрация элемента в почвенном горизонте соответственно в варианте с удобрениями $c_{yд}$ и в контрольном c_0 (табл.4).

Накопление подвижных соединений марганца при внесении удобрений выявлено в пахотном горизонте до 40%, подпахотном А - до 30%, горизонте АВ₁ - до 12%, горизонте АВ₂ - до 32%. Для подвижных соединений меди наблюдается противоположное распределение: в пахотном слое выявлено снижение содержания, в остальных горизонтах идёт накопление, достигая максимума в горизонте С.

Применение удобрений способствует накоплению в пахотном горизонте подвижных соединений Zn, Co и Pb. В последующих горизонтах распределение этих элементов различно.

Таблица 3 - Содержание подвижных соединений микроэлементов в генетических горизонтах чернозёма выщелоченного, мг/кг сухой почвы.

Горизонт	Вариант	Mn	Cu	Zn	Co	Pb	Cd
А _{пах} (0-20 см)	контроль	46,0	0,205	0,630	0,150	0,430	0,038
	НПК (1)	64,5	0,170	0,775	0,265	0,510	0,038
А (20- 56 см)	контроль	35,5	0,105	0,375	0,100	0,180	0,032
	НПК (1)	45,5	0,140	0,200	0,225	0,380	0,031
АВ ₁ (56 - 96 см)	контроль	24,5	0,155	0,320	0,105	0,255	0,030
	НПК (1)	27,5	0,205	0,545	0,145	0,410	0,027
АВ ₂ (96- 146 см)	контроль	17,0	0,150	0,185	0,105	0,265	0,028
	НПК (1)	22,5	0,175	0,195	0,105	0,400	0,026
В(146 - 190 см)	контроль	15,5	0,180	0,385	0,075	0,340	0,028
	НПК (1)	14,5	0,295	0,300	0,070	0,530	0,052
С (190 и более см)	контроль	20,5	0,185	0,300	0,100	0,380	0,029
	НПК (1)	13,5	0,430	0,550	0,075	0,740	0,066
s _r при P= 0.95, n =4		± (1,0-1,5)	± (1,0-2,0)·10 ⁻²		± (1,0- 1,5)·10 ⁻²		±1,5·10 ⁻³

Цинк вымывается из подпахотного горизонта (КН = 0,53), накапливаясь в горизонтах АВ₁ и С. Кобальт концентрируется в подпахотном горизонте, затем содержание его подвижных соединений равномерно снижается и в горизонтах В и С ниже, чем в контрольном

варианте. Свинец накапливается при внесении удобрений во всех нижеследующих горизонтах, в большей степени в горизонтах А₁ (КН=2,11) и С (КН= 1,95). Удобрения вызывают значимое увеличение содержания подвижного кадмия в горизонтах В(КН = 1.86) и С (КН = 2,28).

Накопление подвижных соединений элементов в нижних горизонтах свидетельствует о миграции их по почвенному профилю.

Содержание подвижных соединений марганца и кобальта в нижних горизонтах (В и С) при внесении удобрений снижается по сравнению с контролем. Марганец и кобальт, как микроэлементы, активно выносятся с урожаем, внесение удобрений способствует увеличению вегетативной массы растений и, как следствие, повышению выноса элементов.

Таблица 4 - Влияние удобрений на накопление подвижных форм элементов в генетических горизонтах

Генетический горизонт	Коэффициенты накопления (КН)					
	Mn	Cu	Zn	Co	Pb	Cd
А _{пах} (0-20 см)	1,40	0,83	1,23	1,79	1,19	1,00
А (20- 56 см)	1,30	1,33	0,53	2,25	2,11	0,97
АВ ₁ (56 - 96 см)	1,12	1,32	1,70	1,38	1,61	0,90
АВ ₂ (96- 146 см)	1,32	1,17	1,05	1,00	1,51	0,93
В(146 - 190 см)	0,94	1,64	0,78	0,93	1,56	1,86
С (190 и более см)	0,66	2,32	1,83	0,75	1,95	2,28

Миграцию химических элементов в почвенном профиле характеризуют элювиально-аккумулятивные коэффициенты $K_{э-а}$: $K_{э-а} = c_{г.г} / c_{м.п.}$, где $c_{г.г}$ и $c_{м.п.}$ -концентрации химического элемента соответственно в генетическом горизонте почвы $c_{г.г}$ и материнской породе $c_{м.п.}$. При значении $K_{э-а} < 1$ элемент аккумулируется в материнской породе, $K_{э-а} > 1$ – элемент аккумулируется в генетическом горизонте. На рисунке 4 показана динамика изменения элювиально-аккумулятивных коэффициентов

подвижных соединений тяжёлых металлов в контрольном варианте (слева) и в варианте с удобрениями (справа).

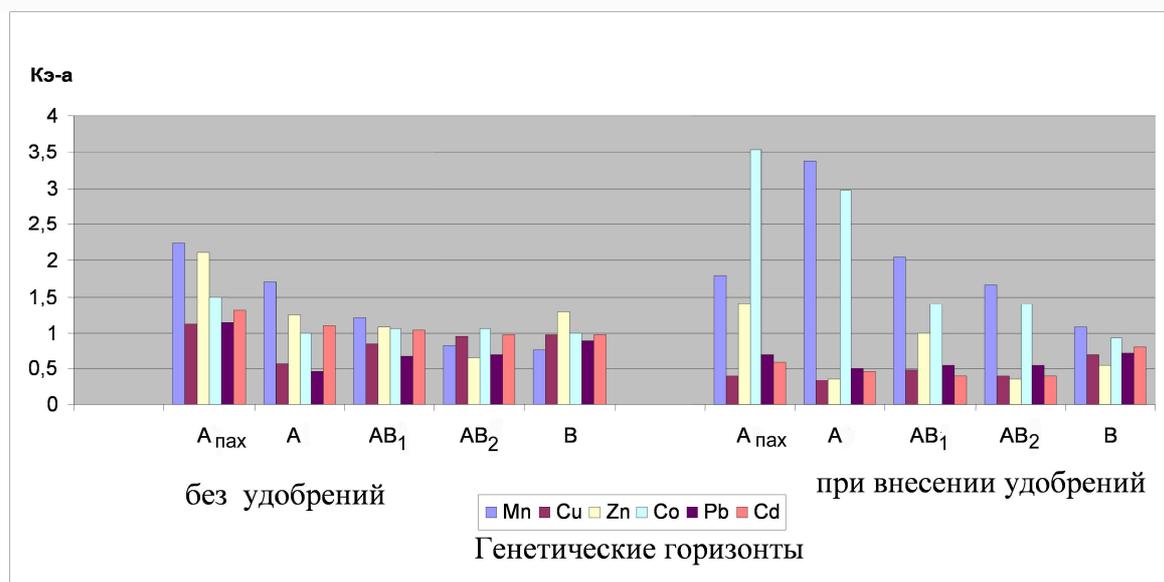


Рисунок 4 – Элювиально-аккумулятивные коэффициенты подвижных соединений тяжёлых металлов в профиле чернозёма выщелоченного.

В варианте без удобрений элювиально-аккумулятивные коэффициенты подвижных соединений всех изучаемых элементов в пахотном горизонте больше единицы, но значимо процесс аккумуляции в пахотном горизонте выявлен для подвижных соединений марганца, цинка и кобальта. Этот процесс, вероятно, обусловлен атмосферными выпадениями. В подпахотном горизонте существенно изменяются элювиально-аккумулятивные коэффициенты подвижных соединений меди и свинца – меньше единицы, что указывает на миграцию соединений этих элементов в нижние горизонты и процесс их аккумуляции в материнской породе. Элювиально-аккумулятивные коэффициенты подвижных соединений цинка, кобальта и кадмия в горизонтах АВ₁, АВ₂ и В колеблются в пределах единицы, что указывает на малую миграцию этих соединений по профилю изучаемой почвы.

В варианте с удобрениями отмечен резкий рост элювиально-аккумулятивных коэффициентов подвижных соединений кобальта в

пахотном и подпахотном горизонтах (3,5 и 3,0) и марганца (3,4) в подпахотном, в горизонтах АВ₁ и АВ₂ коэффициенты этих элементов остаются выше единицы, в горизонте В равны единице. Следовательно, подвижные соединения Mn и Co аккумулируются в верхних горизонтах. Элювиально-аккумулятивные коэффициенты подвижных соединений меди, свинца и кадмия меньше единицы по всему профилю, что свидетельствует о процессе аккумуляции подвижных соединений этих элементов в материнской породе. Распределение подвижных соединений цинка по профилю при внесении удобрений отличается от контрольного варианта: элювиально-аккумулятивные коэффициенты изменяются от 1,4 (А_{пах}) до 0,4 -0,5 (А, АВ₂ и В), в горизонте АВ₁ коэффициент равен единице, что указывает на перенос соединений цинка из подпахотного слоя.

На процесс миграции соединений по профилю почвы влияют многие факторы: физико-химические и агрофизические свойства почвы, водный режим, система обработки почвы, погодные условия. В таблице 5 приведены значения коэффициентов корреляции содержания подвижных соединений изучаемых элементов с физико-химическими свойствами чернозёма выщелоченного.

Прямая зависимость содержания подвижных соединений в почве от гумуса выявлена для марганца ($r = 0,89$), кобальта ($r = 0,73$), кадмия ($r = 0,63$) и цинка ($r = 0,59$). Коэффициенты корреляции содержания подвижных соединений меди и свинца показывают, что с увеличением гумуса подвижность этих элементов уменьшается. Это объясняется тем, что медь и свинец образуют с гумусом более прочные комплексы при $pH > 5$. Устойчивость комплексов тяжёлых металлов с гумусом уменьшается в последовательности: Cu > Pb > Fe > Ni > Mn > Co > Zn ~ Cd.

Таблица 5 – Взаимосвязь содержания подвижных соединений элементов с физико-химическими свойствами чернозёма выщелоченного (контроль).

Почвенные показатели	Коэффициенты корреляции					
	Mn	Cu	Zn	Co	Pb	Cd
Гумус	0,8878	-0,1201	0,5884	0,7291	-0,1741	0,6281
Актуальная кислотность	-0,6412	0,3189	-0,2925	-0,5914	0,4130	-0,3844
Плотность	-0,9131	-0,1313	-0,7862	-0,7664	-0,0837	-0,6042
Максимальная гигроскопичность	-0,0064	0,7305	0,1926	0,5185	0,6193	0,4795
Валовое содержание железа ($Fe_2 O_3$)	-0,8221	-0,3364	-0,8535	-0,6072	-0,3871	-0,8319

Влияние реакции среды почвенного раствора на подвижность тяжёлых металлов различно: прямая зависимость установлена только для меди и свинца, что обусловлено уменьшением устойчивости их комплексов при $pH > 7$. Марганец, цинк, кобальт и кадмий в нейтральной и слабощелочной среде переходят в труднорастворимые соединения, в основном, оксиды, гидроксиды, фосфаты. Увеличение валового содержания железа снижает подвижность всех изучаемых элементов. Соединения железа, в частности, оксиды ($Fe_2 O_3$) сорбируют на своей поверхности ионы тяжёлых металлов и это одна из причин уменьшения их подвижности с увеличением pH. Исходя из значений коэффициентов корреляции можно расположить изучаемые тяжёлые металлы в порядке прочности закрепления их оксидами железа: $Zn > Cd > Mn > Co > Pb > Cu$. С увеличением гигроскопичности возрастает подвижность соединений меди, свинца, кобальта и кадмия. Увеличение плотности почвы отрицательно сказывается на подвижности соединений всех изучаемых элементов, особенно для марганца, цинка и кобальта.

Таким образом, чернозём выщелоченный по своим физико-химическим свойствам обладает способностью связывать тяжёлые металлы в слабоподвижные соединения. Содержание подвижных форм меди, цинка, кобальта по всему профилю ниже фона, что вызывает дефицит этих микроэлементов для растений. Пахотный горизонт достаточно обеспечен подвижным марганцем. Внесение удобрений повышает содержание подвижных соединений марганца на 40%, кобальта - на 79% и цинка - на 23%.

Распределение валового содержания Mn, Cu, Zn, Co, Pb и Cd по профилю чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности.

В таблице 6 приведены результаты исследований почвенных образцов на валовое содержание Mn, Cu, Zn, Co и Pb методом рентгено-флуоресцентного анализа.

Погрешность рентгено-флуоресцентного анализа возрастает при низких концентрациях элементов, поэтому валовое содержание кадмия не определяли, погрешность для свинца и кобальта превышает допустимую и в этом случае можно говорить лишь о диапазоне концентраций. Валовое содержание меди и цинка выше ПДК в контрольном варианте во всех горизонтах, марганца, кобальта и свинца - ниже ПДК. При внесении удобрений в почву увеличивается содержание марганца, меди и цинка в пахотном и подпахотном горизонтах, но изменения находятся в пределах погрешности анализа.

На рисунке 5 показана динамика элювиально-аккумулятивных коэффициентов для валового содержания тяжёлых металлов по профилю изучаемой почвы. В контрольном варианте элювиально-аккумулятивные коэффициенты Mn, Cu, Zn практически равны единице, следовательно, распределение валового содержания этих элементов по профилю равномерное.

Таблица 6 - Динамика валового содержания тяжёлых металлов по генетическим горизонтам чернозёма выщелоченного, мг/кг сухой почвы.

Горизонт	Вариант	Mn	Cu	Zn	Co	Pb	Fe ₂ O ₃ ,г/кг
A _{пах} (0-20 см)	контроль	731	62	74	22	23	56,08
	НРК (1)	742	73	76	16	13	56,17
А (20- 56 см)	контроль	725	64	75	23	21	56,92
	НРК (1)	726	71	76	13	9	57,09
АВ ₁ (56 - 96 см)	контроль	729	68	73	21	12	58,27
	НРК (1)	726	66	72	11	7	56,35
АВ ₂ (96- 146 см)	контроль	729	66	72	15	16	57,72
	НРК (1)	726	68	76	19	13	56,96
В(146 - 190 см)	контроль	709	67	74	21	13	57,40
	НРК (1)	632	54	70	18	12	50,9
С (190 и более см)	контроль	702	65	75	10	16	57,76
	НРК (1)	589	50	68	18	12	48,78
s _r при P= 0.80, n =6		±59	±23	±13,5	± 6,5	±3,5	±5,5

Элювиально-аккумулятивные коэффициенты Pb во всех горизонтах больше единицы, что указывает на аккумуляцию его в верхних слоях - преимущественно в горизонтах: A_{пах.}, А, АВ₁. Применение удобрений приводит к некоторому накоплению валового содержания Mn и в большей степени Cu в верхних горизонтах (A_{пах.}, А, АВ₁) чернозёма выщелоченного. Характер распределения валового содержания цинка по профилю чернозема выщелоченного при внесении удобрений практически не изменяется и является равномерным.

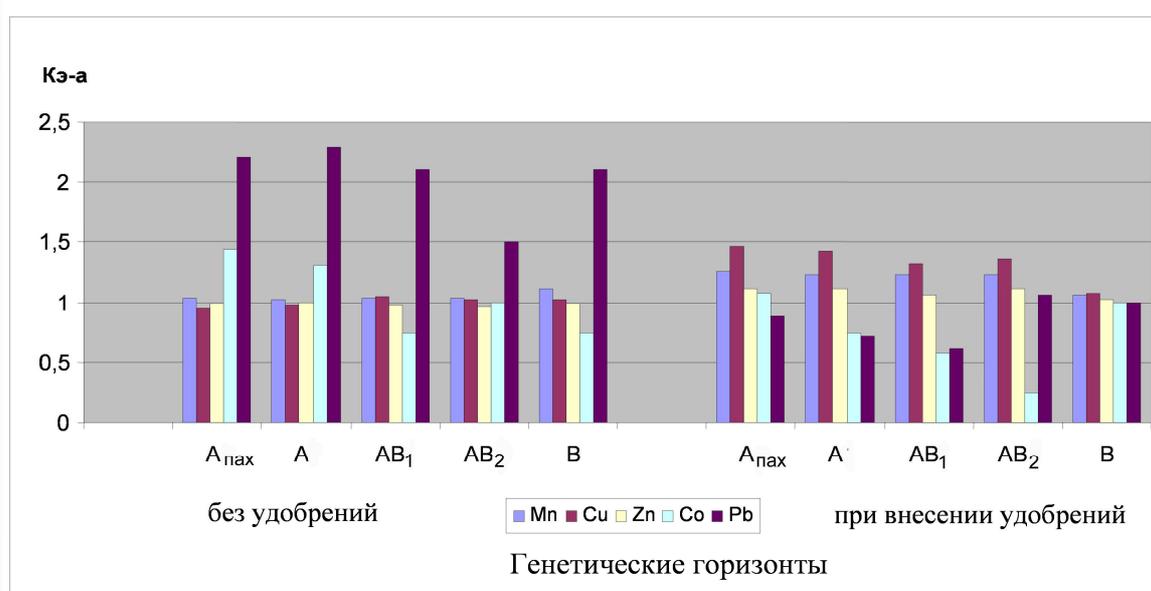


Рисунок 5 - Элювиально-аккумулятивные коэффициенты валового содержания тяжёлых металлов в почвенном профиле чернозёма выщелоченного.

Вносимые удобрения вызывают перераспределение свинца и кобальта: идёт процесс переноса их соединений в нижние горизонты - АВ₂ и В (Pb), В (Co). Влияние удобрений на характер перераспределения свинца и кобальта может быть обусловлено увеличением кислотности почвенного раствора в верхних горизонтах, особенно при внесении азотных удобрений.

Заключение

В генетических горизонтах чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности содержание подвижных соединений марганца, меди, цинка, кобальта, свинца и кадмия ниже предельно допустимой концентрации, что имеет важное экологическое значение.

В пахотном горизонте аккумулируются подвижные соединения марганца, цинка, кобальта и кадмия. По профилю распределение подвижных форм тяжёлых металлов различно: для марганца и цинка распределение носит плавно убывающий характер по мере уменьшения кислотности; распределение кобальта и кадмия - равномерное; содержание

меди и свинца резко уменьшается в подпахотном горизонте (в 2раза), затем плавно возрастает по профилю в связи с разрушением комплексов с гумусовыми веществами.

Содержание подвижных соединений меди, цинка и кобальта по всему профилю ниже фона, что указывает на дефицит этих важных микроэлементов в чернозёме выщелоченном Азово-Кубанской низменности.

Минеральные удобрения вызывают некоторое перераспределение тяжёлых металлов по профилю чернозёма выщелоченного: подвижные соединения марганца накапливаются в подпахотном слое, цинка - в горизонте АВ₁, свинец и кадмий - в горизонте В.

Валовое содержание соединений меди и цинка выше ПДК по всему профилю чернозёма выщелоченного. Коллоидные, глинистые, гумусовые вещества и оксиды железа сорбируют их ионы или образуют трудно растворимые соединения, что способствует накоплению валового содержания этих элементов.

Распределение валового содержания Mn, Cu, Zn и Co по профилю чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности носит равномерный характер. Минеральные удобрения вызывают перераспределение валового содержания свинца - он аккумулируется в горизонтах АВ₂ и В.

Миграция соединений Mn, Cu, Zn, Co, Pb и Cd по профилю чернозёма выщелоченного Азово-Кубанской низменности слабая, что обусловлено его физико-химическими свойствами: высоким содержанием глинистых частиц, оксидов железа, нейтральной и слабо щелочной реакцией среды почвенного раствора.

Литература

1. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеивание. М.: Мысль, 1983. – 272 с.

2. Ковальский В.В., Андрианова Т.А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. – 179 с.
3. Состояние окружающей среды. Программа ООН по окружающей среде. М.: ВИНТИ, 1980. – 162 с.
4. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. - 2012. - № 3. – С. 368-375
5. Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // Почвоведение. – 2011. - № 5. С.582-596
6. Тонконоженко Е.В. Микроэлементы в почвах Кубани и применение микроудобрений. Краснодар: КубГАУ, 1973. – 111 с.
7. Корсунова М.И. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов на Кубани. Краснодар: КубГАУ, 2006. – 231 с.
8. Шеужден А.Х., Хурум Х.Д., Лебедевский И.А. Микроэлементы и формы их соединений в почвах Кубани. Майкоп: Адыгея, 2008. – 56 с.
9. Резников Н.В., Холостяков А.М., Селиверстов В.В., Андриющенко В.Ю. Карта загрязнения химическими элементами почв Краснодарского края и республики Адыгея. Саратов: - «Роскартография», 2000.
10. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве
11. Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Анализ опыта европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова // Почвоведение, 2012. - № 1. – С. 106-114
12. Гайдукова Н.Г., Кошеленко Н.А., Сидорова И.И., Шабанова И.В. О возможности чернозёма выщелоченного Кубани инактивировать особо опасные тяжелые металлы // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2010. - №61(07). - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/04.pdf>
13. Нещадим Н.Н., Гайдукова Н.Г., Сидорова И.И., Шабанова И.В. Об экологических рисках, связанных с накоплением свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы, выращенной на чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – В.3(39). –Краснодар: Кубанский ГАУ, 2012. - С 115-119
14. Малюга Н.Г., Гайдукова Н.Г., Букреев П.Т., Шабанова И.В. Последствие навоза на содержание микроэлементов в черноземе выщелоченном Кубани // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – В.3(39). –Краснодар: Кубанский ГАУ, 2012. - С 87-91
15. Лебедевский И.А. Агрохимическая и экологическая оценка чернозёма выщелоченного Западного Предкавказья на содержание тяжелых металлов в условиях длительного применения удобрений под озимые колосовые культуры: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар: КубГАУ, 2009. – 21 с.
16. Баракина Е.Е. Агроэкологическое состояние плодородия чернозема выщелоченного Западного Предкавказья при возделывании сельскохозяйственных культур: автореф. дис. канд. с.-х. наук. Краснодар: КубГАУ, 2011. – 24с.

References

1. Dobrovol'skij V.V. Geografija mikrojelementov. Global'noe rasseivanie. M.: Mysl', 1983. – 272 s.
2. Koval'skij V.V., Andrianova T.A. Mikrojelementy v pochvah SSSR. M.: Nauka, 1970. – 179 s.

3. Sostojanie okruzhajushhej sredy. Programma OON po okruzhajushhej srede. M.: VINITI, 1980. – 162 s.
4. Vodjanickij Ju.N. Normativy sodержaniya tjazhelyh metallov i metalloidov v pochvah // Pochvovedenie. - 2012. - № 3. – S. 368-375
5. Jakovlev A.S., Evdokimova M.V. Jekologicheskoe normirovanie pochv i upravlenie ih kachestvom // Pochvovedenie. – 2011. - № 5. S.582-596
6. Tonkonozhenko E.V. Mikrojelementy v pochvah Kubani i primenenie mikroudobrenij. Krasnodar: KubGAU, 1973. – 111 s.
7. Korsunova M.I. Biogeohimija i agrohimiya mikrojelementov na Kubani. Krasnodar: KubGAU, 2006. – 231 s.
8. Sheuzhden A.H., Hurum H.D., Lebedovskij I.A. Mikrojelementy i formy ih soedinenij v pochvah Kubani. Majkop: Adygeja, 2008. – 56 s.
9. Reznikov N.V., Holostjakov A.M., Seliverstov V.V., Andrjushhenko V.Ju. Karta zagrjaznenija himicheskimi jelementami pochv Krasnodarskogo kraja i respubliki Adygeja. Saratov: - «Roskartografija», 2000.
10. GN 2.1.7.2041-06 Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v pochve
11. Medvedev V.V., Laktionova T.N. Analiz opyta evropejskih stran v provedenii monitoringa pochvennogo pokrova // Pochvovedenie, 2012. - № 1. – S. 106-114
12. Gajdukova N.G., Koshelenko N.A., Sidorova I.I., Shabanova I.V. O vozmozhnosti chernozjoma vyshhelochennogo Kubani inaktivirovat' osobo opasnye tjazhelye metally // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. - Krasnodar: KubGAU, 2010. - №61(07). - Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf./04.pdf>
13. Neshhadim N.N., Gajdukova N.G., Sidorova I.I., Shabanova I.V. Ob jekologicheskikh riskah, svjazannyh s nakopleniem svinca i kadmija v zerne ozimoj pshenicy, vyrashhennoj na chernozjome vyshhelochennom Zapadnogo Predkavkaz'ja // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – V.3(39). –Krasnodar: Kubanskij GAU, 2012. - S 115-119
14. Maljuga N.G., Gajdukova N.G., Bukreev P.T., Shabanova I.V. Posledejstvie navoza na sodержanie mikrojelementov v chernozeme vyshhelochennom Kubani // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – V.3(39). –Krasnodar: Kubanskij GAU, 2012. - S 87-91
15. Lebedovskij I.A. Agrohimičeskaja i jekologičeskaja ocenka chernozjoma vyshhelochennogo Zapadnogo Predkavkaz'ja na sodержanie tjazhelyh metallov v uslovijah dliitel'nogo primenenija udobrenij pod ozimye kolosovye kul'tury: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. Krasnodar: KubGAU, 2009. – 21 s.
16. Barakina E.E. Agrojekologičeskoe sostojanie plodorodija chernozema vyshhelochennogo Zapadnogo Predkavkaz'ja pri vozdeľivanii sel'skohozjajstvennyh kul'tur: avtoref. dis. kand. s.-h. nauk. Krasnodar: KubGAU, 2011. – 24s.