

3. Borin A.A., Loshchinina A.E. *Vliyanie obrabotki pochvy v komplekse s primeneniem udobreniy i gerbitsidov na urozhaynost' kul'tur sevooborota*. [Effect of soil cultivation in combination with the application of fertilizers and herbicides on the productivity of crops of crop rotation]. *Zemledelie*. 2015. no. 7. pp. 17-20.

4. Kiryushin V.I. *Minimizatsiya obrabotki pochvy: perspektivy i protivorechiya*. [Minimization of soil cultivation: perspectives and contradictions]. *Zemledelie*. 2006. no. 5. pp. 12-14.

5. Kiryushin V.I. *Problema minimizatsii obrabotki pochvy: perspektivy razvitiya i zadachi issledovaniy*. [The problem of minimization of soil cultivation: development prospects and research problems]. *Zemledelie*. 2013. no. 7. pp. 3-6.

6. Mitrofanov Yu.I., Artem'ev A.E., Charushkina O.V. *Vozможности minimalizatsii osnovnoy obrabotki pochvy pod zernovye kul'tury na osushennykh zemlyakh: sb. nauchnykh trudov «Resursosberegayushchie sistemy obrabotki pochvy»*. [Possibilities of minimizing the main soil cultivation for grain

crops on drained lands: Collection of scientific works «Resource-saving soil cultivation systems»]. Moscow: VO «Agropromizdat», 1990. pp. 45-49.

7. Saranin K.I., Popov A.V. *Vozможности minimal'noy obrabotki pochvy*. [Possibilities of minimal soil cultivation]. *Zemledelie*. 1974. no. 7. pp. 26-28.

8. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta*. [Methodology of field experiment]. Moscow: Kolos, 1979. 416 p.

9. Kosolapova A.I. *Vliyanie obrabotki pochvy na agrofizicheskie pokazateli opodzolenogo chernozema i produktivnost' kul'tur polevogo sevooborota*. [Influence of soil cultivation on agrophysical indices of podzolized chernozem and productivity of crops in field crop rotation]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2013. no. 5. pp. 32-37.

10. Korchagin A.A., Il'in L.I., Mazirov M.A., Bibik T.S., Petrosyan R.D., Markov A.A., Gasparyan A.R. *Resursy adaptatsii agrotekhnologii v razlichnyye po meteorosloviyam gody*. [The resources of adapting of agrotechnologies in years varying on meteorological conditions]. *Zemledelie*. 2017. no. 1. pp. 16-20.

УДК 631.453: 631.8

## **Влияние удобрений на содержание и динамику подвижных соединений меди и цинка в дерново-подзолистой почве**

**Симонова Ольга Александровна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник,  
**Чеглакова Оксана Алексеевна**, аспирант

ФГБНУ «Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г. Киров, Россия

E-mail: edaphic@mail.ru

*В статье изложены результаты исследований за 2016...2017 гг. по изучению влияния разных доз минеральных удобрений (0, 30, 90, 120 и 150 кг/га д.в. NPK) на содержание подвижных соединений цинка и меди в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы в условиях длительного стационарного опыта, расположенного в Кировской области. Выявлено, что увеличение содержания подвижных соединений цинка в почве, по сравнению с контролем, и их динамика в течение вегетационного периода наблюдались при внесении удобрений в дозах 30, 60 и 90 кг/га. Так, количество данных соединений элемента в варианте с контролем в течение исследуемого периода варьировало от 0,17 до 2,42 мг/кг; при внесении доз удобрений: 30 кг/га – 0,17-4,11 мг/кг; 60 кг/га – 0,28-5,38 мг/кг; 90 кг/га – 0,21-3,73 мг/кг. На содержание подвижных соединений меди внесение разных доз минеральных удобрений не оказало влияния. Динамика данного элемента в течение вегетационного периода выражена слабо. Достоверное увеличение количества исследуемых соединений меди во всех вариантах, в том числе и в контроле, было выявлено в начале июня и конце июля. Например, в контрольном варианте максимальное содержание подвижных соединений данного элемента составило 0,53 мг/кг, а при внесении дозы удобрений 30 кг/га – 0,52 мг/кг; 60 кг/га – 0,56 мг/кг; 90 кг/га – 0,66 мг/кг; 120 кг/га – 0,57 мг/кг; 150 кг/га – 0,52 мг/кг. При этом изменение содержания подвижных соединений элементов в течение вегетационного периода связано с гидротермическими условиями.*

**Ключевые слова:** медь, цинк, удобрения, почва

Тяжелыми металлами чаще всего называют большую группу химических элементов, обладающих свойствами металлов или металлоидов, с плотностью более 5 г/см<sup>3</sup>, атомной массой свыше 40 Да, атомным числом более 23 [1]. Чаще всего их концентрации в материнской породе не превышают 100 мг/кг. Все тяжелые металлы токсичны для живых организмов в случае избытка содержания, оцениваемого параметром «предельно допустимая концентрация» (ПДК), хотя некоторые из них в низких концентрациях необходимы для нор-

мального роста [2]. Важно отметить, что почва является одновременно и источником металлов и местом их накопления в экосистемах. Изучение содержания тяжелых металлов в пределах целой экосистемы показывает, что иногда многие районы земного шара содержат аномально высокие концентрации этих элементов [3]. Понимание факторов, контролирующих общее содержание тяжелых металлов и их биодоступность в почвах, имеет большое значение для оценки уровня их опасности для сельскохозяйственного производства [4]. С другой стороны,

во многих частях земного шара продуктивность сельского хозяйства лимитируется недостатком таких «необходимых» тяжелых металлов, как Zn, Cu, Mn, и Co [5]. Недостаток этих элементов лимитирует рост микроорганизмов, растений и животных, оказывает серьезное влияние на здоровье людей. Поэтому вопросы оценки и контроля над содержанием подобных элементов в окружающей среде являются крайне актуальными.

Сельское хозяйство оказывает значительное влияние на почвенный покров, в том числе на содержание и подвижность в нем тяжелых металлов, которые являются неотъемлемой частью почвы. В природной среде тяжелые металлы находятся в виде соединений, хотя могут встречаться и в свободном состоянии [6]. Данные элементы входят в состав многих минералов. При этом для растений имеет значение не столько валовое содержание элементов, сколько содержание их подвижных соединений [7], которое может значительно изменяться в течение вегетационного периода [8].

Существует несколько источников загрязнения почв тяжелыми металлами, из которых основным в сельском хозяйстве является внесение удобрений. Химические элементы в минеральных удобрениях являются естественными примесями. Наибольшее количество элементов, в том числе и меди, содержится в фосфорных удобрениях; цинк может содержаться в простом суперфосфате [9]. Азотные и калийные удобрения загрязнены в меньшей степени [10].

**Цель исследований** – изучить влияние разных доз удобрений на содержание и динамику подвижных соединений цинка и меди в дерново-подзолистой почве в течение вегетационного периода.

**Материал и методы.** В 2016-2017 гг. исследовали содержание разных форм тяжелых металлов в образцах почвы длительного (более 40 лет) стационарного опыта лаборатории агрохимии ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока» (г. Киров). Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин. Отбор почвенных проб осуществляли с помощью почвенного бура из пахотного слоя (0-20 см) в течение вегетационного периода: перед посевом, в соответствии с фазами развития яровой пшеницы: всходы, выход в трубку, колошение; а также после уборки. Привязка дат отбора проб к фазам развития растений позволяет сравнивать между собой образцы, взятые в разные годы. Повторность отбора шестикратная, метод отбора рандомизированный (случайный). Подготовка почвенных

проб для анализа осуществлялась общепринятыми методами (ГОСТ 17.4.4.02-84). Полевую влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89); содержание подвижных соединений цинка и меди – в ацетатно-аммонийном буферном растворе с pH 4,8 в соотношении почва : раствор 1:10 методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии согласно инструкции изготовителя (ООО «ХАЦ «Плазма», Томск).

Пробы почв отбирались по вариантам внесения удобрений (NPK): 30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества. В контрольном варианте удобрения не вносились. Применялись следующие минеральные удобрения: аммиачная селитра; суперфосфат двойной гранулированный; хлористый калий.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ Microsoft Excel 2003 и AGROS 2.07. Достоверность сезонной динамики элементов оценивалась с использованием критерия Дункана.

**Результаты и их обсуждение.** В результате статистического анализа было выявлено, что при внесении удобрений в дозе 30 кг/га содержание подвижных соединений цинка было выше контрольного варианта в конце апреля (перед посевом), а в дозе 60 кг/га - еще и в июне (фазы всходов и выхода в трубку) (рис. 1).

При внесении удобрений в дозе 90 кг/га достоверное повышение количества подвижных соединений исследуемого элемента наблюдалось только в фазу выхода в трубку. С одной стороны, по литературным данным, внесение разных доз удобрений может способствовать увеличению содержания цинка в почве [11]. С другой стороны, степень подвижности цинка снижается по мере увеличения дозы вносимых удобрений [12], особенно при внесении фосфорных удобрений, так как фосфаты закрепляют цинк в почве [13].

В результате обработки данных нашего исследования методом двухфакторного дисперсионного анализа (первый фактор – удобрения, второй фактор – даты отбора проб) было установлено, что внесение удобрений в дозах 120 и 150 кг/га не оказало значимого влияния на изменение содержания подвижных соединений цинка в почве по сравнению с контролем.

Различий по содержанию в почве подвижных соединений меди на участках с внесением разных доз удобрений не наблюдалось (рис. 2), хотя в целом по фазам вегетации растений отмечена определенная динамика.

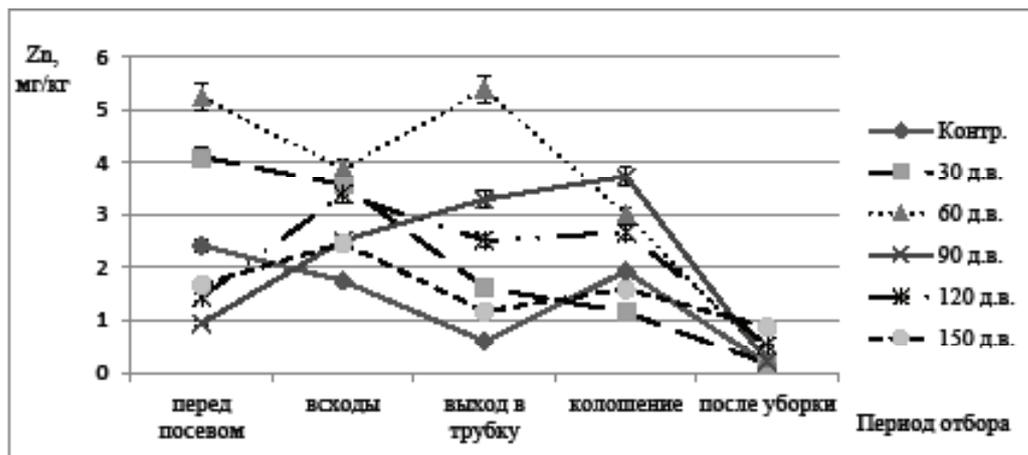


Рис. 1. Динамика содержания подвижных соединений цинка в почве в посевах яровой пшеницы

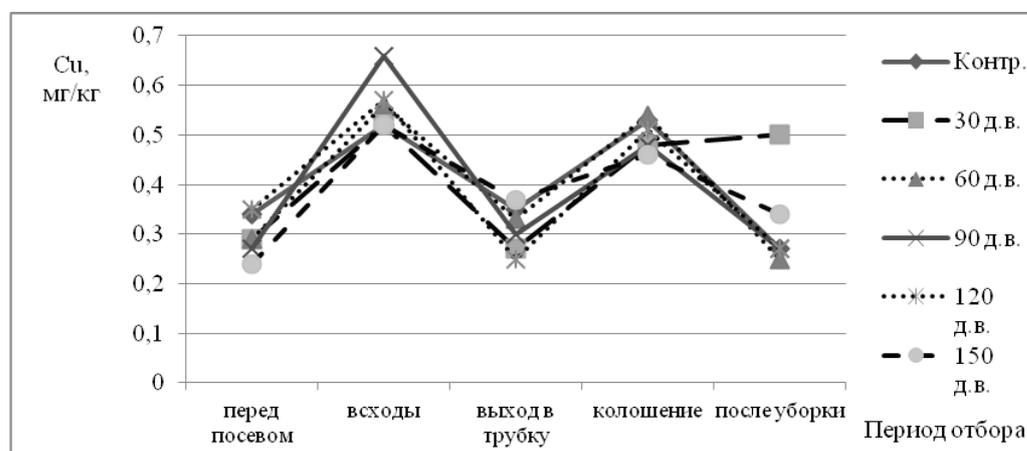


Рис. 2. Динамика содержания подвижных соединений меди в почве в посевах яровой пшеницы

Согласно литературным данным, значительное количество меди в почве находится в необменном и труднодоступном состоянии, а при попадании в почву формирует прочные связи с органическим веществом, что уменьшает подвижность данного элемента [14]. Таким образом, несмотря на то, что минеральные удобрения могут способствовать увеличению содержания ТМ в почве, в то же время количество доступных для растений соединений меди может оставаться неизменным. По нашим данным, даже внесение дозы удобрений 150 кг/га действующего вещества не оказало влияния на содержание подвижных соединений меди.

Кроме влияния разных доз удобрений на содержание подвижных соединений цинка и меди в почве, также было изучено их изменение в течение вегетационного периода. Так, при внесении удобрений в дозах 30 и 60 кг/га было выявлено достоверное умень-

шение количества подвижных соединений цинка к концу исследуемого периода (рис. 1). Их максимальное содержание в варианте внесения удобрений 90 кг/га наблюдалось в фазы выхода в трубку и колошения. Гидротермические условия оказывают влияние на многие процессы в почве, в том числе и на содержание, и подвижность тяжелых металлов. Высокая температура в летний период и низкая влажность почвы в августе 2016 г. (9,8 %) могли способствовать закреплению цинка в почве. Кроме того, металлы выносятся из почвы с растительной массой [13]. Поэтому, вероятно, при уборке урожая произошел частичный вынос подвижных соединений цинка. В контрольном варианте и при внесении удобрений в дозах 120 и 150 кг/га достоверного изменения содержания исследуемых соединений элемента в течение вегетационного периода не было выявлено.

В течение вегетационного периода достоверное увеличение количества исследуемых соединений меди во всех вариантах, в том числе и в контроле, было выявлено в фазы всходов и колошения (рис. 2). Вероятно, это связано с гидротермическими условиями. В июне 2016 г. температура повысилась, влажность почвы составила 11,4...13,0%. Гидротермические условия оказывают влияние на многие процессы в почвах. Так, из литературных данных известно, что с повышением температуры усиливается окисление органического вещества, обмен между твердой фазой почвы и почвенным раствором, диффузия веществ в почве, микробиологическая деятельность [15]. Все вышперечисленное оказывает влияние на подвижность тяжелых металлов. Например, деструкция органического вещества способствует высвобождению элементов и увеличению содержания их подвижных соединений, в том числе за счет образования растворимых органоминеральных комплексов. Поэтому большое количество осадков, которое выпало в июле 2016 г. (116 мм), могло активизировать биохимические процессы в почве.

**Выводы.** Таким образом, увеличение содержания подвижных соединений цинка в почве, по сравнению с контролем, и их динамика в течение вегетационного периода наблюдались при внесении удобрений в дозах 30, 60 и 90 кг/га. При этом снижение их количества во всех вариантах опыта произошло к концу исследуемого периода, что может быть связано с гидротермическими условиями и выносом цинка урожаем.

На содержание подвижных соединений меди внесение разных доз минеральных удобрений не оказало влияния. Динамика данного элемента в течение вегетационного периода выражена слабо. Повышение количества обменных форм меди в почве во всех исследуемых вариантах, в том числе и в контроле, наблюдалось в начале июня и конце июля, что связано с прогреванием почвы в начале лета при сохранении относительно высокой влажности почвы после весеннего снеготаяния и с выпадением большого количества осадков в июле.

#### **Список литературы**

1. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.
2. Villiers F., Ducruix C., Hugouvieux V., Bourguignon J. Investigating the plant response to cadmium exposure by proteomic and metabolomic approaches // *Proteomics*. 2011. V. 11. P. 1650-1663. doi: 10.1002/pmic.201000645
3. Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 144. P. 241-246. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.01.026
4. Viehweger K. How plants cope with heavy metals // *Botanical Studies*. 2014. Vol. 55. №. 1. P. 35-47. doi:10.1186/1999-3110-55-35
5. Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // *Environ Chem Lett*. 2010. Vol. 8. P. 199-216. doi: 10.1007/s10311-010-0297-8
6. Егошина Т.Л., Шихова Л.Н., Лисицын Е.М., Жиряков А.С. Накопление тяжелых металлов в водных экосистемах разной степени загрязненности // *Проблемы региональной экологии*. 2007. №2. С. 17-23.
7. Дубенок Н.Н., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Тобратов С.А. Закономерности распределения тяжелых металлов в почвах лесных экосистем (на примере центральной части Рязанского региона) // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2011. № 3. С. 26-30.
8. Shikhova L.N., Lisitsyn E.M. Seasonal dynamics in content of some heavy metals and microelements in arable soils of taiga zone of European Russia // *Heavy metals and other pollutants in the environment: biological aspects*. Toronto: Apple Academic Press, 2017. P. 31-50.
9. Леднев А.В., Ложкин А.В., Безносков А.И. Тяжелые металлы в почвах Удмуртской республики и приемы, снижающие их миграцию в системе почва-растение. Ижевск: ФГБОУ Ижевская ГСХА, 2016. 175 с.
10. Guzman E.T.R., Regil E.O., Gutierrez L.R.R., Albericli M.V.E., Hernandez A.R., Regil E.D. Contamination of corn growing areas due to intense fertilization in the high plane of Mexico // *Water, Air and Soil Pollution*. 2006. Vol. 175. P. 77-98. doi: 10.1007/s11270-006-9114-1.
11. Карпунин А.И., Бушуев Н.Н. Влияние применения удобрений на содержание тяжелых металлов в почвах при длительных полевых опытах // *Агрохимия*. 2007. № 5. С. 76-84.
12. Гайдукова Н.Г., Кошеленко Н.А., Космачева О.В., Лебедевский И.А. Об устойчивости чернозема выщелоченного к загрязнению тяжелыми металлами // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2004. Выпуск 409 (437). С. 114-118.
13. Водяницкий Ю.Н. Экотоксикологическая оценка опасности тяжелых металлов и металлоидов в почве // *Агрохимия*. 2012. № 2. С. 75-84.
14. Kabata-Pendias A. Trace elements in soil and plants. 4-th edition. Boca Raton, Florida. CRC Press, 2010. 548 p.
15. Кречетов П.П., Черницова О.В. Эколого-географический анализ температурного режима почв Восточно-Европейской равнины и Предкавказья. М.: Пеликан, 2007. 80 с.

## **Influence of fertilizers on content and dynamics of mobile forms of copper and zink in sod-podzolic soil**

**Simonova O.A.**, PhD in agriculture, researcher, **Cheglacova O.A.**, post-graduate  
*North-East Agricultural Research Institute, Kirov, Russia*

In this paper we present the results of 2016...2017 studies on the influence of different doses of mineral fertilizers (0, 30, 90, 120, and 150 kg/ha of acting matter of NPK) on the content of mobile compounds of zinc and copper in the arable horizon of sod-podzolic soil under conditions of long-term stationary field located in the Kirov region. The increase in the content of mobile compounds of zinc in the soil, compared with control, and their dynamics during the vegetation period was observed with the application of fertilizers in doses of 30, 60 and 90 kg/ha. Thus, the amount of these compounds of the element in the variant with control during the period under study ranged from 0.17 to 2.42 mg/kg; when applying fertilizer doses: 30 kg/ha – 0.17-4.11 mg/kg; 60 kg/ha – 0.28-5.38 mg/kg; 90 kg/ha – 0.21-3.73 mg/kg. On the content of mobile compounds of copper, the introduction of different doses of mineral fertilizers had no effect. The dynamics of this element during the vegetation period are expressed poorly. A significant increase in the number of investigated copper compounds in all variants including the control was detected in early June and late July. For example, in the control variant the maximum content of mobile compounds of this element was 0.53 mg/kg, and when applying a fertilizer dose of 30 kg/ha, 0.52 mg/kg; 60 kg/ha – 0.56 mg/kg; 90 kg/ha – 0.66 mg/kg; 120 kg/ha – 0.57 mg/kg; 150 kg/ha – 0.52 mg/kg. At the same time, the change in the content of mobile compounds of elements during the growing season is associated with hydrothermal conditions.

**Key words:** *copper, zinc, fertilizers, soil*

### **References**

1. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Tyazhelye metally i rasteniya*. [Heavy metals and plants]. Petrozavodsk: *Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN*, 2014. 194 p.
2. Villiers F., Ducruix C., Hugouvieux V., Bourguignon J. Investigating the plant response to cadmium exposure by proteomic and metabolomic approaches. *Proteomics*. 2011. Vol. 11. pp. 1650–1663. doi: 10.1002/pmic.201000645
3. Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzheva S.S. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Vol. 144. pp. 241-246. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.01.026
4. Viehweger K. How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*. 2014. Vol. 55. no. 1. pp. 35-47. doi:10.1186/1999-3110-55-35
5. Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ Chem Lett*. 2010. Vol. 8. pp. 199-216. doi 10.1007/s10311-010-0297-8
6. Egoshina T.L., Shikhova L.N., Lisitsyn E.M., Zhiryakov A.S. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh raznoy stepeni zagryaznennosti*. [Accumulation of heavy metals in aquatic eco-systems with different degree of pollution]. *Problemy regional'noy ekologii*. 2007. no. 2. pp. 17-23.
7. Dubenok N.N., Mazhayskiy Yu.A., Evtyukhin V.F., Tobratov S.A. *Zakonomernosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v pochvakh lesnykh ekosistem (na primere tsentral'noy chasti Ryazanskogo regiona)*. [Regularities of changes of heavy metals in soils of forest ecosystems (on example of Ryazan' region)]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2011. no. 3. pp. 26-30.
8. Shikhova L.N., Lisitsyn E.M. Seasonal dynamics in content of some heavy metals and microelements in arable soils of taiga zone of European Russia. Heavy metals and other pollutants in the environment: biological aspects. Toronto: Apple Academic Press, 2017. pp. 31-50.
9. Lednev A.V., Lozhkin A.V., Beznosov A.I. *Tyazhelye metally v pochvakh Udmurtskoy respubliki i priemy, snizhayushchie ikh migratsiyu v sisteme pochva-rastenie*. [Heavy metals in soils of Udmurt Republic and methods to lower its migration in system soil-plant]. Izhevsk: *FGBOU Izhevskaya GSKhA*, 2016. 175 p.
10. Guzman E.T.R., Regil E.O., Gutierrez L.R.R., Alberici M.V.E., Hernandez A.R., Regil E.D. Contamination of corn growing areas due to intense fertilization in the high plane of Mexico. *Water, Air and Soil Pollution*. 2006. Vol. 175. pp. 77-98. doi: 10.1007/s11270-006-9114-1.
11. Karpukhin A.I., Bushuev N.N. *Vliyanie primeneniya udobreniy na sodержanie tyazhelykh metallov v pochvakh pri dlitel'nykh polevykh opytakh*. [Influence of fertilizers use on content of heavy metals in soil at long term field experiments]. *Agrokimiya*. 2007. no. 5. pp. 76-84.
12. Gaydukova N.G., Koshelenko N.A., Kosmacheva O.V., Lebedovskiy I.A. *Ob ustoychivosti chernozema vyshchelochennogo k zagryazneniyu tyazhelymi metallami*. [About resistance of leached chernozem to pollution with heavy metals]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2004. Iss. 409 (437). pp. 114-118.
13. Vodyanitskiy Yu.N. *Ekotoksikologicheskaya otsenka opasnosti tyazhelykh metallov i metalloidov v pochve*. [Ecotoxicological estimation of danger of heavy metals and metalloids in soil]. *Agrokimiya*. 2012. no. 2. pp. 75-84.
14. Kabata-Pendias A. Trace elements in soil and plants. 4-th edition. Boca Raton, Florida. CRC Press, 2010. 548 p.
15. Krechetov P.P., Chernitsova O.V. *Ekologo-geograficheskiy analiz temperaturnogo rezhima pochv Vostochno-Evropeyskoy ravniny i Predkavkaz'ya*. [Ecological-and-geographical analysis of temperature regime of soils of Eastern-European plain and PredCaucasis]. Moscow: *Pelikan*, 2007. 80 p.