

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.17>

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ДИАММОНИЙФОСФАТ NP 18:46 НА УРОЖАЙНОСТЬ РАПСА ЯРОВОГО В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (СВИНЕЦ, КАДМИЙ)**

Научная статья

**Коротченко И.С.<sup>1</sup>, Первышина Г.Г.<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-9099-9537;

<sup>2</sup>ORCID : 0000-0001-5880-5395;

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

**Аннотация**

В ходе микрополевых вегетационных опытов на выщелоченном черноземе с яровым рапсом сорта Надежный 92 выявлено позитивное влияние мелиоранта неорганического происхождения на урожайность при модельном загрязнении почвы «мокрым методом» ионами свинца и кадмия. Установлено повышение урожайности биомассы рапса при применении диаммония фосфата (NP 18:46) в дозе 100 кг/га – на 11%, диаммония фосфата (NP 18:46) в дозе 200 кг/га – на 26% по сравнению с контролем (без детоксиканта). При этом на урожайность семян введение тяжелых металлов в почву оказало более сильное влияние, чем на урожайность вегетативной массы рапса. Без использования минеральных удобрений (контрольный вариант) превышение МДУ в биомассе рапса наблюдалось уже при внесении в почву 110,6 мг/кг свинца (2 ПДК), 0,57 мг/кг кадмия (1 ПДК). Показано, что происходит достоверное ( $P \leq 0,01$ ) снижение до предельно допустимой концентрации тяжелых металлов в почве при использовании диаммония фосфата (NP 18:46) в дозе 200 кг/га.

**Ключевые слова:** рапс яровой, загрязнение, ионы кадмия (II), ионы свинца (II), мелиорант, почва.

**INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE EXAMPLE OF DIAMMONIUM PHOSPHATE NP 18:46 ON YIELD OF SPRING RAPE UNDER CONDITIONS OF MODEL POLLUTION BY HEAVY METALS (LEAD, CADMIUM)**

Research article

**Korotchenko I.S.<sup>1</sup>, Pervishina G.G.<sup>2,\*</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-9099-9537;

<sup>2</sup>ORCID : 0000-0001-5880-5395;

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian Federal university, Krasnoyarsk, Russian Federation

\* Corresponding author (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

**Abstract**

In the course of micro-field vegetation experiments on leached black soil with spring rape of Nadezhny 92 variety, the positive effect of ameliorant of inorganic origin on yield under model soil contamination "by wet method" with lead and cadmium ions was found. The increase of rape biomass yield at application of diammonium phosphate (NP 18:46) at a dose of 100 kg/ha – by 11%, diammonium phosphate (NP 18:46) at a dose of 200 kg/ha – by 26% in comparison with the control (without detoxicant) was established. At the same time, the seed yield was more strongly affected by the introduction of heavy metals into the soil than the yield of the vegetative mass of rape. Without the use of mineral fertilizers (control variant) the exceeding of MPC in rape biomass was observed already when 110.6 mg/kg of lead (2 MPC) and 0.57 mg/kg of cadmium (1 MPC) were introduced into the soil. It is shown that there is a reliable ( $P \leq 0.01$ ) decrease to the maximum permissible concentration of heavy metals in soil when using diammonium phosphate (NP 18:46) at a dose of 200 kg/ha.

**Keywords:** spring rape, pollution, cadmium (II) ions, lead (II) ions, ameliorant, soil.

**Введение**

Ингредиентное загрязнение окружающей среды, вызванное в первую очередь попаданием тяжелых металлов в почву сельскохозяйственных угодий, наносит серьезный экологический ущерб [1], [2]. По мнению авторов [3], данная проблема характерна и для Красноярского края. При этом особое внимание следует обратить на наиболее токсичные элементы, вызывающие серьезные нарушения жизнедеятельности живых организмов, в частности свинец и кадмий [4], [5], [6]. Пути поступления данных металлов в почву обусловлены как естественными эмиссиями (наличие в горных породах, эрозия почв и т.д.), так и с потоками предприятий угледобывающей, металлургической промышленности и энергетического комплекса, бытовыми отходами [7], [8], удобрениями вследствие наличия соответствующих примесей в исходном сырье [9], [10] и определяются рядом факторов: типом и свойствами почвы, ее механическим и химическим составом, значением pH, микрофлорой и т.д [11].

Красноярский край является регионом-лидером по выращиванию ярового рапса (кользы) и характеризуется постоянным увеличением посевных площадей, что обусловлено его высокой урожайностью, которая достигает 19,0 центнеров с 1 гектара убранной площади, и повышенным содержанием липидов [12]. В то же время имеются работы

[13], свидетельствующие о возможности накопления данной культурой тяжелых металлов в различных органах вследствие извлечения их из загрязненных почв. Так, Коротченко И.С. была показана возможность использования минеральных и органических уравнивания для деконтаминации тяжелых металлов при одновременном загрязнении почвы ионами свинца и кадмия [14].

В связи с вышеизложенным целью данной работы являлась оценка влияния высококонцентрированного безнитратного удобрения с содержанием 18% азота и 46% фосфора (диаммоний фосфат NP 18:46) на урожайность ярового рапса в условиях модельного загрязнения  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  выщелоченных черноземов Красноярского края.

### Методы и принципы исследования

Выращивание растений осуществляли на опытных участках, которые представляли собой чернозем выщелоченный с введением «мокрым» методом загрязнителей (свинца (II) сульфат, 99.5% (хч); сульфат кадмия, безводный, 99+%) в концентрации от 1 до 5 значений ПДК в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» в расчете на чистый металл. Толщина слоя почвы варьировалась в пределах 0-20 см. Время инкубации почв после внесения токсикантов составляло 30 дней. Исследования проведены в условиях Березовского района Красноярского края.

В модельные образцы почвы высаживали семена ярового рапса сорта Надежный 92 (масличность 45-47%, урожайность семян до 21,9 ц/га, зеленой массы 315-380 ц/га.), норма высева – 2,5 млн. шт. всхожих семян/га, повторность опыта – четырехкратная.

Испытываемый агрохимикат на рапсе яровом – минеральное удобрение Диаммонийфосфат NP 18:46 (18% азота, 46% фосфора), произведенное фирмой «ФосАгро», Россия. Препаративная форма – гранулы.

Выращенные на контрольном и модельных образцах почвы растения были срезаны в конце вегетационного периода (через 120 дней) и высушены при температуре 23-25 °С в течение 3-5 дней. Содержание ионов свинца и кадмия в образцах растительного сырья проводили в НИЦ ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ с использованием атомно-абсорбционного анализатора PinAAcle 900T.

При статистической обработке результатов исследований использовали программное обеспечение Microsoft Office Excel 2010 (надстройка «Пакет анализа») и Statistica 6,0 for Windows.

### Основные результаты

Поскольку показателями, характеризующими состоятельность и привлекательность культуры для широкого использования в сельскохозяйственном производстве, является урожайность семян и биомасса, после уборки урожая (конец вегетационного периода), было проведено их определение, представленное на рисунках 1 и 2.

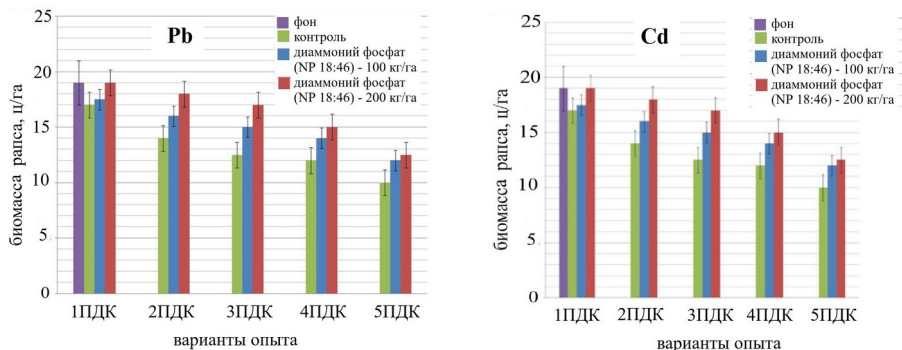


Рисунок 1 - Биомасса ярового рапса в микрополевых опытах с контаминацией почвы  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.17.1>

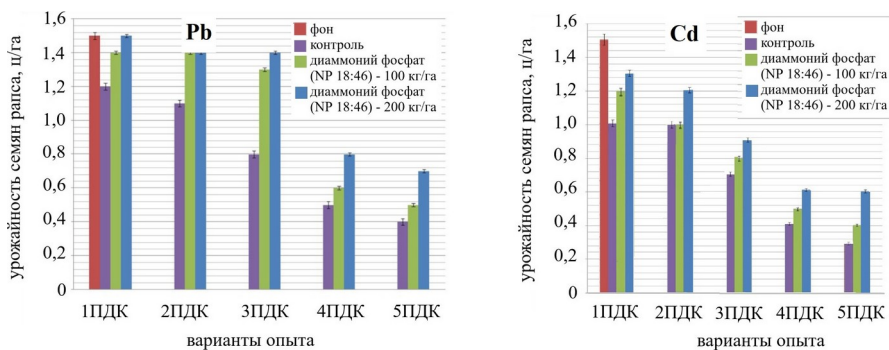


Рисунок 2 - Урожайность семян ярового рапса в микрополевых опытах с контаминацией почвы  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.17.2>

Внесение в почву (чернозем выщелоченный) ионов свинца и кадмия оказывает не однозначное воздействие на биомассу и урожайность семян рапса. Ранее было показано [13], что увеличение концентрации ТМ в почве ведет к повышенному содержанию их в растительном сырье (биомасса и семена), что и подтверждается в проведенных в ходе настоящего исследования опытах. Превышение максимально допустимого уровня (МДУ) по свинцу в биомассе рапса варьируется в пределах от 1,12 до 3,15 раз, кадмия – от 1,16 до 4,32 раза.

Более низкое накопление свинца, по сравнению с кадмием, в рапсе объясняется слабой подвижностью этого элемента. Кадмий же сравнительно быстро поглощается и перемещается в растения (табл. 1).

Таблица 1 - Содержание микроэлементов в надземной биомассе растений рапса в фазу уборки в зависимости от условий агроэкологических опытов

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.17.3>

Вариант	Дозы детоксиканта, кг/га	Pb (1...5 ПДК)				
		1	2	3	4	5
Контроль (без детоксиканта), мг/кг сухой массы	-	0,15±0,02	0,26±0,05	0,38±0,03	0,57±0,05	0,70±0,07
Диаммоний фосфат (NP 18:46), мг/кг сухой массы	100	0,14±0,02	0,24±0,04	0,36±0,03	0,54±0,04	0,68±0,07
	200	0,12±0,02	0,21±0,04	0,33±0,03	0,51±0,05	0,63±0,06
Фон, мг/кг сухой массы	-	0,05±0,01				
МДУ <sup>#</sup>	-	0,5				
Cd (1...5 ПДК)						
Контроль (без детоксиканта), мг/кг сухой массы	-	0,03±0,01	0,09±0,01	0,10±0,01	0,14±0,02	0,23±0,03
Диаммоний фосфат (NP 18:46), мг/кг сухой массы	100	0,03±0,01	0,08±0,01	0,12±0,02	0,15±0,02	0,27±0,03
	200	0,02±0,01	0,07±0,01	0,08±0,01	0,09±0,01	0,21±0,03
Фон, мг/кг сухой массы	-	0,02±0,01				
МДУ <sup>#</sup>	-	0,1				

Примечание: <sup>#</sup> по ист. [15]

### Обсуждение

Внесение в почву ионов свинца и кадмия приводит к существенному снижению биомассы рапса (рис.1) по сравнению с растениями, полученными на почвенных образцах с фоновым значением содержания ТМ. Введение минерального удобрения нивелирует негативное влияние поллютантов, при этом максимальная урожайность биомассы ярового рапса достигнута для варианта внесения в почву минерального удобрения – диаммоний фосфат (NP 18:46) в дозе 200 кг/га. На урожай семян (рис.2) введение в почвенные образцы ионов свинца и кадмия оказывает более сильное воздействие по сравнению с урожаем вегетативной массы рапса. Следует отметить, что введение минерального удобрения способствует менее существенному (в отличие от данных, представленных на рисунке 1) повышению урожайности семян по сравнению с образцами, выращенными на контрольных экспериментальных участках и практически не достигает значений, полученных для растений, собранных с опытных площадок, характеризующихся фоновым значением ТМ.

В то же время при оценке содержания ТМ в надземной биомассе растений было установлено существенное влияние контаминации почвы тяжелыми металлами на их аккумуляцию в растениях. При загрязнении модельных образцов почв ионами свинца и кадмия, их поступление в растительное сырье возрастало линейно, пропорционально концентрациям подвижных форм элемента ( $r=0,95\dots 0,98$ ,  $P\leq 0,01$ ), достигнув максимума при самом высоком уровне загрязнения. Таким образом, было показано, что внесение ионов свинца и кадмия в чернозем выщелоченный в дозах 1–5 ПДК приводит к резкому повышению их концентраций в рапсе, при этом внесение минерального удобрения снижает концентрацию.

### Заключение

1. Выявлено положительное влияние минерального удобрения диаммонийфосфат (NP 18:46) на урожайность рапса ярового сорта Надежный 92 при контаминации почвы (чернозема выщелоченного) ионами свинца и кадмия. Урожайность биомассы рапса увеличилась при применении мелиоранта в дозе 100 кг/га – на 11%, в дозе 200 кг/га – на 26% по сравнению с контролем (без детоксиканта). На урожай семян ТМ оказали более сильное влияние, чем на урожай вегетативной массы рапса.

2. Без использования мелиоранта (контрольный вариант) превышение МДУ в биомассе рапса наблюдалось уже при внесении в почву 110,6 мг/кг свинца (2 ПДК), 0,57 мг/кг кадмия (1 ПДК). Применение детоксиканта позволило незначительно снизить аккумуляцию ТМ в рапсе. Установлено, что происходит достоверное ( $P\leq 0,01$ ) снижение до предельно допустимой концентрации ТМ в почве при использовании диаммония фосфата (NP 18:46) в дозе 200 кг/га при первоначальном загрязнении не превышающем значений 4 ПДК.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Другов Д.И. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Д.И. Другов. — Москва: Бином, 2016. — 424 с.
2. Симеониди Д.Д. Влияние ионов тяжелых металлов (на примере меди и свинца) на состояние и рост растений / Д.Д. Симеониди, И.М. Бигаева, Ф.М. Агаева [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — № 12 (126). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.68.
3. Коротченко И.С. Биодиагностика состояния почв Емельяновского района Красноярского края в условиях транспортной нагрузки / И.С. Коротченко, В.А. Медведева // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. — 2022. — № 3 (43). — С. 18–26. — DOI: 10.32516/2303-9922.2022.43.2.
4. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. — Ленинград: Агропромиздат, Ленинградское отделение, 1987. — 142 с.
5. Саэт Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.]. — Москва: Недра, 1990. — 335 с.
6. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В.Б. Ильин. — Новосибирск: Наука, 1991. — 151 с.
7. Arutyunyanz A.A. Characterization of Condition of the Sewage Water and the Level of the Soil Pollution by Polygons of Waste Matter of Republic of North Ossetia – Alania / A.A. Arutyunyanz, N.A. Salamova, D.D. Simeonidi // IOP Conference Series Earth and Environmental Science . — 2019. — № 272. — P. 032053. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/3/032053> (accessed: 18.10.2024). — DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032053.
8. Титов А.Ф. Влияние свинца на живые организмы / А.Ф. Титов, М.Н. Казнина, Т.А. Карапетян [и др.] // Журнал общей биологии. — 2020. — № 2. — С. 147–160.
9. Потатуева Ю.А. Агроэкологическое значение примесей тяжелых металлов и токсичных элементов в удобрениях / Ю.А. Потатуева, Н.К. Сидоренкова, Е.Г. Прищеп // Агрохимия. — 2002. — № 1. — С. 85–95.
10. Зубков Н.В. Влияние фосфорных удобрений на содержание тяжелых металлов в почве, поступление их в растения и продуктивность культур в условиях загрязнения почвы / Н.В. Зубков // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. — 2011. — № 2. — С. 71–84.
11. Padmavathiamma P.K. Phytoavailability and fractionation of lead and manganese in a contaminated soil after application of three amendments / P.K. Padmavathiamma, Y. LiL // Bioresource Technology. — 2010. — № 14 (101). — P. 5667–5676.
12. Кошкин Е.И. Продуктивность и структура урожая ярового рапса (*Brassica napus*L.) при моноэлементном загрязнении почвы тяжелыми металлами / Е.И. Кошкин, И.В. Вагун, В.Т. Воловик // Известия ТСХА. — 2012. — № 2. — С. 32–45.
13. Darracq S. Heavy metals transfer from soil to rapeseed oil / S. Darracq, C. Bernhard-Bitaud, B. Bourrie [et al.] — Rio de Janeiro: SP, 2015. — P. 61-64.
14. Коротченко И.С. Деконтаминация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И.С. Коротченко // Природообустройство. — 2015. — № 4. — С. 22–24.

15. Санитарные правила и нормы (СанПиН), гигиенические нормативы и перечни методических указаний и рекомендаций по эпидемиологии. — Москва: Информ.-изд. центр Госкомсанэпиднадзора РФ, 1993. — Т. 7. — 377 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Drugov D.I. Analiz zagriznenoj pochvy i opasnyh othodov [Analysis of contaminated soil and hazardous waste] / D.I. Drugov. — Moskva: Binom, 2016. — 424 p. [in Russian]
2. Simeonidi D.D. Vlijanie ionov tzhzhelyh metallov (na primere medi i svintsy) na sostojanie i rost rastenij [The influence of heavy metal ions (using the example of copper and lead) on the condition and growth of plants] / D.D. Simeonidi, I.M. Bigaeva, F.M. Agaeva [et al.] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. — 2022. — № 12 (126). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.68. [in Russian]
3. Korotchenko I.S. Biodiagnostika sostojanija pochvy Emel'janovskogo rajona Krasnojarskogo kraja v uslovijah transportnoj nagruzki [Biodiagnostics of soil conditions in the Emelyanovsky district of the Krasnoyarsk Territory under transport load conditions] / I.S. Korotchenko, V.A. Medvedeva // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Jelektronnyj nauchnyj zhurnal [Bulletin of the Orenburg State Pedagogical University. Electronic scientific journal]. — 2022. — № 3 (43). — P. 18–26. — DOI: 10.32516/2303-9922.2022.43.2. [in Russian]
4. Alekseev Ju.V. Tzhzhelye metally v pochvah i rastenijah [Heavy metals in soils and plants] / Ju.V. Alekseev. — Leningrad: Agropromizdat, Leningrad branch, 1987. — 142 p. [in Russian]
5. Saet Ju.E. Geohimija okruzhajushej sredy [Environmental Geochemistry] / Ju.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Janin [et al.]. — Moskva: Nedra, 1990. — 335 p. [in Russian]
6. Il'in V.B. Tzhzhelye metally v sisteme pochva – rastenie [Heavy metals in the soil-plant system] / V.B. Il'in. — Novosibirsk: Nauka, 1991. — 151 p. [in Russian]
7. Arutyunyanz A.A. Characterization of Condition of the Sewage Water and the Level of the Soil Pollution by Polygons of Waste Matter of Republic of North Ossetia – Alania / A.A. Arutyunyanz, N.A. Salamova, D.D. Simeonidi // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. — 2019. — № 272. — P. 032053. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/3/032053> (accessed: 18.10.2024). — DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032053.
8. Titov A.F. Vlijanie svintsy na zhivye organizmy [The effect of lead on living organisms] / A.F. Titov, M.N. Kaznina, T.A. Karapetjan [et al.] // Zhurnal obshhej biologii [Journal of General Biology]. — 2020. — № 2. — P. 147–160. [in Russian]
9. Potatueva Ju.A. Agroekologicheskoe znachenie primesej tzhzhelyh metallov i toksichnyh elementov v udobrenijah [Agroecological significance of heavy metal impurities and toxic elements in fertilizers] / Ju.A. Potatueva, N.K. Sidorenkova, E.G. Prischep // Agrohimiya [Agrochemistry]. — 2002. — № 1. — P. 85–95. [in Russian]
10. Zubkov N.V. Vlijanie fosfornyh udobrenij na sodержanie tzhzhelyh metallov v pochve, postuplenie ih v rastenija i produktivnost' kul'tur v uslovijah zagriznenija pochvy [The influence of phosphorus fertilizers on the content of heavy metals in the soil, their entry into plants and crop productivity under conditions of soil pollution] / N.V. Zubkov // Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Serija: Estestvennye nauki [Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series: Natural Sciences]. — 2011. — № 2. — P. 71–84. [in Russian]
11. Padmavathiamma P.K. Phytoavailability and fractionation of lead and manganese in a contaminated soil after application of three amendments / P.K. Padmavathiamma, Y. LiL // Bioresource Technology. — 2010. — № 14 (101). — P. 5667–5676.
12. Koshkin E.I. Produktivnost' i struktura urozhaja jarovogo rapsa (*Brassica napus*L.) pri monoelementnom zagriznenii pochvy tzhzhelymi metallami [Productivity and harvest structure of spring rapeseed (*Brassica napus*L.) under monoelement soil contamination with heavy metals] / E.I. Koshkin, I.V. Vagun, V.T. Volovik // Izvestija TSHA [News of TSHA]. — 2012. — № 2. — P. 32–45. [in Russian]
13. Darracq S. Heavy metals transfer from soil to rapeseed oil / S. Darracq, C. Bernhard-Bitaud, B. Bourrie [et al.] — Rio de Janeiro: SP, 2015. — P. 61-64.
14. Korotchenko I.S. Dekontaminatsija pochvy, zagriznennyh tzhzhelymi metallami [Decontamination of soils contaminated with heavy metals] / I.S. Korotchenko // Prirodoobustrojstvo [Environmental Management]. — 2015. — № 4. — P. 22–24. [in Russian]
15. Sanitarnye pravila i normy (SanPiN), gigienicheskie normativy i perechni metodicheskikh ukazanij i rekomendacij po jepidemiologii [Sanitary rules and regulations (SanPiN), hygienic standards and lists of guidelines and recommendations on epidemiology]. — Moscow: Inform.-ed. Center of the State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of the Russian Federation, 1993. — Vol. 7. — 377 p. [in Russian]