

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИГРАЦИИ КАДМИЯ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

Научная статья

Симеониди Д.Д.^{1,*}, Гобеева Р.М.², Ачеева А.А.³, Хозиева Д.Р.⁴, Дзигоева М.А.⁵¹ ORCID : 0000-0001-6022-8793;⁵ ORCID : 0000-0002-5340-4207;^{1, 2, 3, 4, 5} Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова, Владикавказ, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (artemida73[at]mail.ru)

Аннотация

Цель исследований – анализ влияния ионов кадмия (II) на рост и кумулятивные свойства горчицы сарептская (люкс) и горчицы микрозелень.

Материалы и методы. Экспериментальная часть работы проводилась в лаборатории аналитической химии кафедры общей и неорганической химии и в лаборатории центра коллективного пользования «Физика и технологии наноструктур» ФГБОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова». Для проведения эксперимента был подготовлен ряд модельных образцов почв, загрязненных «мокрым» методом ионами кадмия (II). По окончании экспериментальных исследований в образцах почв и растений определялась концентрация ионов кадмия (II) методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Результаты. Представлены результаты выращивания растений на контрольных и модельных (загрязненных ионами кадмия (II)) почвах, получены данные по накоплению концентрации ионов кадмия (II) в почвах и различных частях растений.

Ключевые слова: горчица, корень, загрязнение, ионы кадмия (II), почва.

A STUDY OF CADMIUM MIGRATION PROCESSES IN THE SOIL-PLANT SYSTEM

Research article

Simeonidi D.D.^{1,*}, Gobeeva R.M.², Acheeva A.A.³, Khozieva D.R.⁴, Dzigoeva M.A.⁵¹ ORCID : 0000-0001-6022-8793;⁵ ORCID : 0000-0002-5340-4207;^{1, 2, 3, 4, 5} North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, Vladikavkaz, Russian Federation

* Corresponding author (artemida73[at]mail.ru)

Abstract

Research Objective is to analyse the effect of cadmium (II) ions on growth and cumulative properties of mustard Sareptskaia (lux) and mustard microgreens.

Materials and Methods. The experimental part of the work was carried out in the laboratory of analytical chemistry of the Department of General and Inorganic Chemistry and in the laboratory of the Centre of Collective Use "Physics and Technology of Nanostructures" FSBEI HE "North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov". A number of model soil samples contaminated with cadmium (II) ions by the "wet" method were prepared for the experiment. At the end of experimental studies in soil and plant samples, the concentration of cadmium (II) ions was determined by atomic absorption spectroscopy.

Results. The results of growing plants on control and model (cadmium (II) ions contaminated) soils are presented, and data on the accumulation of cadmium (II) ions concentration in soils and different parts of plants were obtained.

Keywords: mustard, root, pollution, cadmium (II) ions, soil.

Введение

Из-за быстрого развития индустриализации все актуальнее становится проблема загрязнения окружающей среды и наносимый экологический ущерб. Наиболее заметно, в частности, чрезмерное попадание в почву тяжелых металлов [3], [6].

Кадмий – это тяжелый металл, который встречается в качестве естественного компонента земной коры наряду с медью, свинцом, никелем и цинком. В своих соединениях кадмий проявляет почти исключительно степень окисления +2, наиболее важным соединением кадмия является оксид кадмия CdO. Этот металл широко используется в батареях, гальванических покрытиях, сплавах, различных отраслях промышленности [1].

Организм человека обычно подвергается воздействию кадмия при дыхании и употреблении пищевых продуктов. Биоаккумуляция кадмия в организме человека и в пищевой цепи приводит к острым и хроническим интоксикациям за счет биоусиления. Последствия для здоровья включают нарушение процессов в желудочно-кишечном тракте, переломы костей, нарушение репродуктивной функции и, возможно, даже бесплодие, поражение центральной нервной системы и иммунной системы, психологические расстройства и другие изменения. Кадмий также может вызывать превращение нормальных эпителиальных клеток в канцерогенные клетки путем ингибирования биосинтеза белка [9].

Потоки кадмия с промышленных предприятий попадают в почву, которая может загрязнять как растительное сырье, так и поверхностные воды. Органические вещества в почве поглощают кадмий, препятствуя выживанию различных растений и увеличивая риск поглощения этого токсичного металла с растительной пищей. Кадмий

попадает в воздух и связывается с мелкими частицами, где он может соединиться с водой или почвой и вызвать загрязнение всех участников пищевой цепи (растений, морских животных и рыб, млекопитающих и птиц). Разливы на объектах с опасными отходами и неправильная их утилизация могут привести к утечке кадмия в близлежащие места обитания. Кадмий также попадает на пахотные земли в результате различных промышленных процессов и методов ведения сельского хозяйства. Металл занимает 7 место среди 20 крупнейших токсинов [8].

Накоплению кадмия в растении способствует его мобилизация, поглощение и распределение в различных частях растения. Концентрация кадмия в растениях также является показателем его концентрации в почве, однако различные факторы, включая pH почвы, содержание органических веществ, взаимодействие с ионами других металлов, а также виды растений определяют его доступность в растениях [4].

Анализ ряда экспериментальных данных образцов зерна пшеницы и образцов зерна ячменя показал, что концентрация кадмия в зерне положительно коррелирует с общим содержанием кадмия в почве и реакцией почвы (pH). Авторы также подчеркнули тот факт, что более высокая микробиологическая активность, нитрификация и внесение осадка сточных вод увеличивают вероятность токсичности кадмия, но восстановление почвы с помощью известкования может снизить уровень токсичности [5], [7].

Попав в корни, кадмий может сохраняться или транспортироваться к побегам через ксилему. Кадмий подвижен как в ксилеме, так и во флоэме. Прежде чем понять механизм накопления кадмия в растениях, необходимо изучить поглощение и транслокацию кадмия в модельной системе почва-корень-растение.

Методы и принципы исследования

Для достижения цели исследования нами были поставлены следующие задачи: обзор литературных источников по изучению влияния кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений; постановка опытов на модельных почвах; выращивание растений на модельных почвах; изучение влияния ионов кадмия (II) на рост различных растений; определение ионов кадмия (II) в системе почва-растение методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Перед началом эксперимента в качестве контрольного образца был выбран образец почвогрунта с биогумусом (pH) = 6,5.

В качестве загрязнителя был взят хлорид кадмия $CdCl_2 \times 2,5 H_2O$ (масса навески 0,005 г). Реагент был введен «мокрым» методом в десятикратном превышении предельно допустимой концентрации, установленной СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». В модельные и контрольные образцы почв были высажены семена горчицы сарептская (люкс) и горчицы микрорезель.

На следующем этапе выращенные на контрольном и модельных образцах почв культурные растения были срезаны и высушены при комнатной температуре в течение 3-5 дней. После этого проводилась пробоподготовка образцов почв и растений: объекты разлагались концентрированной азотной кислотой, после чего подвергались разложению в системе микроволнового разложения проб MARS 6.

Подготовленные пробы анализировались на содержание концентраций кадмия с помощью метода атомно-абсорбционной спектроскопии.

Основные результаты

Выращивание растений производилось при температуре +20°C - +25°C, при интенсивном солнечном освещении. Частота полива зависела от влажности почвы. В ходе эксперимента нами оценивались морфологические и физиологические особенности роста и развития растений под действием ионов (II) кадмия.

Горчица росла быстро, плесень не появлялась, первые ростки появились на 3 день. На начальном этапе было отмечено, что в загрязненной кадмием почве зелень росла гуще и выше, чем в чистой (рис. 1, 2).



Рисунок 1 - Рост горчицы сарептская (люкс) на контрольном и модельном образцах
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.1>



Рисунок 2 - Рост горчицы микрозелень на контрольном и модельном образцах
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.2>

Далее в образцах, высаженных на модельной почве, снизилась интенсивность роста, наблюдалось очаговое пожелтение листьев (хлороз).

Следующий этап исследования вновь включал в себя срезания и сушка растений при комнатной температуре в течение 3-5 дней. Затем была проведена пробоподготовка и анализ образцов почв и растений.

В таблицах 1 и 2 и на рисунках 3-7 представлены результаты определения ионов кадмия (II) в системе почва-растения, полученные методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Таблица 1 - Содержание ионов кадмия (II) в почве

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.3>

№ пробы	Концентрация ионов кадмия (II), мг/кг		
	Контрольный образец почвы	Модельный образец почвы (до посадки)	Модельный образец почвы (после посадки)
	Горчица сарептская (люкс)		
1	не обнаружен	23,4 ± 1,4	19,2 ± 1,2
2	не обнаружен	24,7 ± 1,7	18,7 ± 1,1
3	не обнаружен	25,5 ± 1,5	19,5 ± 1,2
Горчица микрозелень			
1	не обнаружен	21,92 ± 1,3	20,8 ± 1,2
2	не обнаружен	22,89 ± 1,4	19,8 ± 1,2
3	не обнаружен	24,90 ± 1,5	23,6 ± 1,4

Таблица 2 - Содержание ионов кадмия (II) в растениях

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.4>

№ пробы	Концентрация ионов кадмия, мг/кг		
	Семена до посадки	Растение (корни)	Растение (листья)
	Горчица сарептская (люкс)		
1	не обнаружен	116,4 ± 7,0	67,7 ± 4,0
2	не обнаружен	111,7 ± 6,7	76,3 ± 4,5
3	не обнаружен	114,6 ± 6,9	74,8 ± 4,5
Горчица микрозелень			
1	не обнаружен	60,3 ± 3,6	46,2 ± 2,8

2	не обнаружен	$76,6 \pm 4,6$	$38,6 \pm 2,3$
3	не обнаружен	$68,6 \pm 4,1$	$42,7 \pm 2,6$

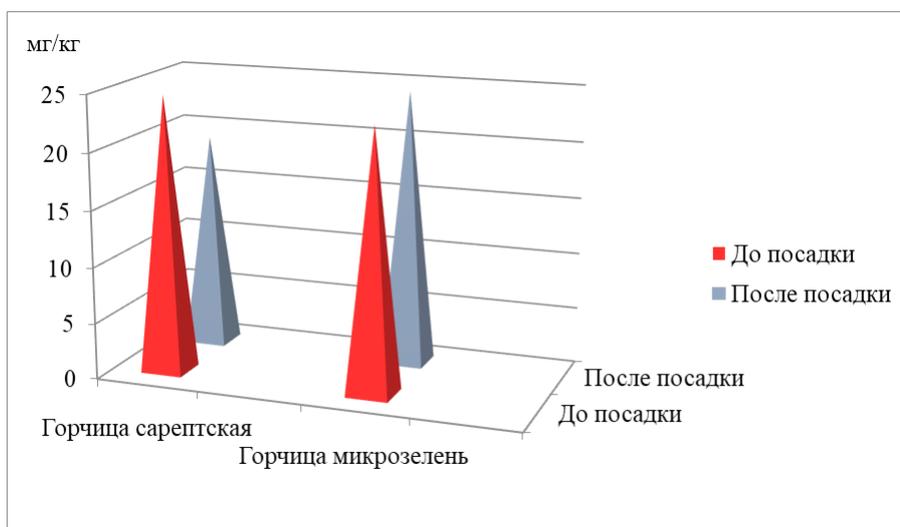


Рисунок 3 - Содержание ионов кадмия (II) в почве до и после посадки
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.5>

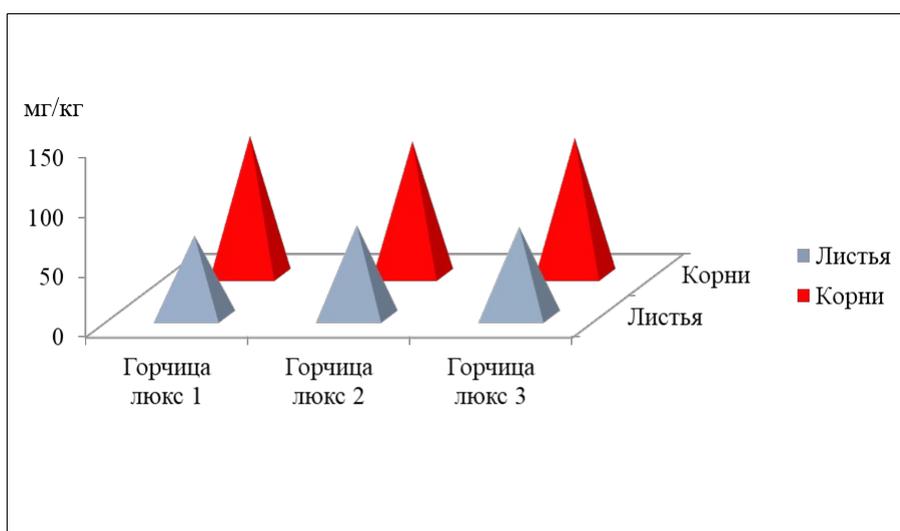


Рисунок 4 - Содержание ионов кадмия (II) в горчице сарептская (люкс)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.6>

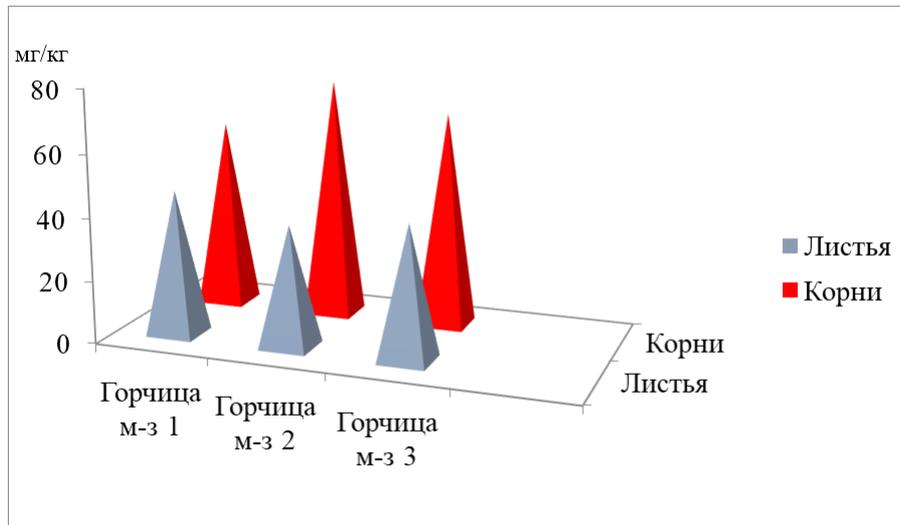


Рисунок 5 - Содержание ионов кадмия (II) в горчице микрозелень
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.7>

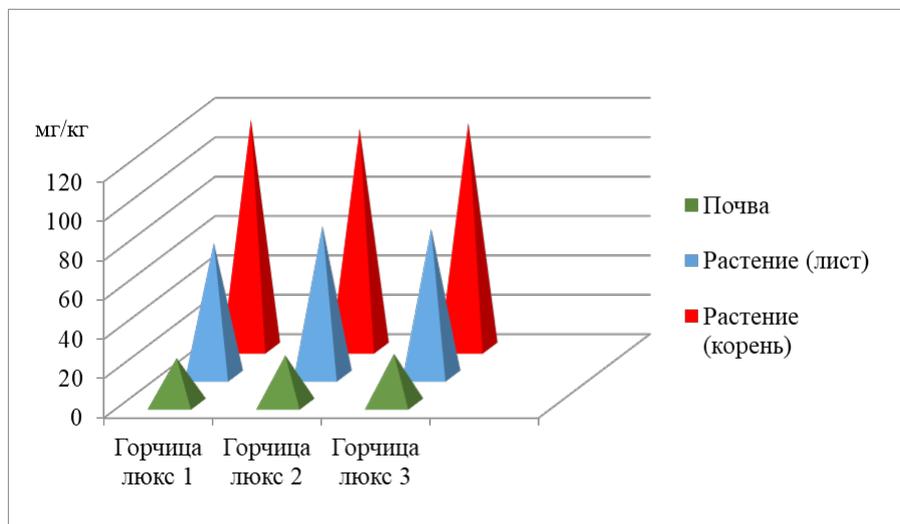


Рисунок 6 - Содержание ионов кадмия (II) в системе почва-растение
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.8>

Примечание: горчица сарептская (люкс)

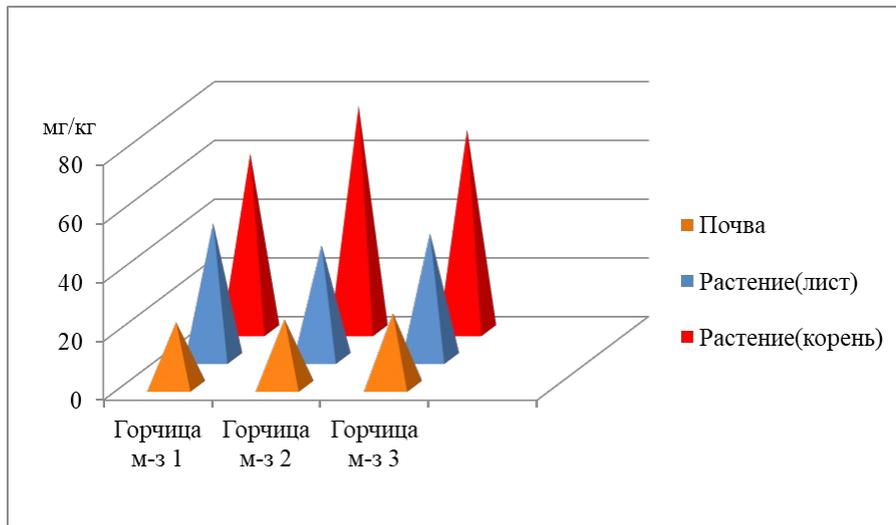


Рисунок 7 - Содержание ионов кадмия (II) в системе почва-растение
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.9>

Примечание: горчица микрозелень

Обсуждение

По результатам, представленным в таблице 1 и на рисунке 3, показано, что в контрольном образце почв ионы кадмия (II) не обнаружены. Концентрация ионов кадмия (II) в модельном образце измерялась после внесения химического реагента до посадки тест-культур и после их извлечения. Проведенный анализ показывает, что концентрация определяемых ионов в почвах, на которых выращивалась горчица сарептская (люкс) ниже, чем в почвах, используемых для выращивания горчицы микрозелень.

Анализ таблицы 2 и рисунков 4, 5 показывает, что накопление ионов кадмия (II) в системе корень-листья интенсивнее в горчице сарептская (люкс) по сравнению с горчицей микрозелень. Средняя концентрация ионов кадмия (II) составила 114,3 мг/кг-72,9 мг/кг и 68,5 мг/кг-42,5 мг/кг соответственно.

Сравнительный анализ отношения накопления кадмия в корнях горчицы сарептской (люкс) и горчицы микрозелень к накоплению его в побегах, представленный на рисунках 6 и 7 показал, что корневая система аккумулирует большую часть массы тяжелых металлов, по сравнению с ее побегами.

По интенсивности биологического поглощения все элементы делятся на группы:

- 1 – элементы энергичного накопления (КБП = 10-100);
- 2 – сильного накопления (КБП = 1-10);
- 3 – слабого накопления и среднего захвата (КБП = 0,1-1);
- 4 – элементы слабого и очень слабого захвата (КБП = 0,001-0,1).

По результатам проведенных исследований установлено, что кадмий, как в корнях, так и в листьях исследуемых тест-культур выступает в качестве элемента сильного накопления (КБП = 1-10).

Также в ходе экспериментальных исследований установлено, что горчица микрозелень, выращенная на почвах, загрязненных ионами тяжелых металлов (от 5 до 10 ПДК) по сравнению с горчицей сарептская (люкс) более устойчива к ионам кадмия (II).

Заключение

Таким образом, по результатам проведенного скрининга тест-культур, выращенных на почвах, загрязненных ионами кадмия (II), показана их неустойчивость к кадмиевому загрязнению. Считаем, что в дальнейшем необходимо проведение полевых опытов по изучению динамики накопления ионов тяжелых металлов в горчице с целью установления накопления их растениями в естественной среде и выработки рекомендаций для фиторемедиации загрязненных территорий.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.10>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.89.10>

Список литературы / References

1. Алексеенко В.А. Металлы в окружающей среде / В.А. Алексеенко. — Москва: Университетская книга, 2015. — 264 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Республике Северная Осетия-Алания в 2022 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Северная Осетия-Алания. — Владикавказ, 2023. — 52 с.
3. Другов Д.И. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов / Д.И. Другов. — Москва: Бином, 2016. — 424 с.
4. Lepp N.V. The Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. Metals in the Environment, Pollution Monitoring Series / N.V. Lepp. — Liverpool: Applied Science Publishers, 2012. — 356 p.
5. Серегин И.В. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И.В. Серегин, В.Б. Иванов // Физиология растений. — 2001. — Т. 48. — № 4. — С. 606-630.
6. Симеониди Д.Д. Влияние ионов тяжелых металлов (на примере меди и свинца) на состояние и рост растений / Д.Д. Симеониди, И.М. Бигаева, Ф.А. Агаева и др. // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — № 12(126). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.68.
7. Титов А.Ф. Устойчивость растений к кадмию (на примере семейства злаков) / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. — 55 с.
8. 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. — Institute of Physics Publishing, 2019. — DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032053.
9. Ding, Q. Effects of Natural Factors on the Spatial Distribution of Heavy Metals in Soils Surrounding Mining Regions / Q. Ding, G. Cheng, Y. Wang et al. // Science of the Total Environment. — 2017. — № 578. — P. 577-585.
10. Duruibe J.O. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects / J.O. Duruibe, M.O.C. Ogwuegbu, J.N. Ekwurugwu // International Journal of Physical Sciences. — 2007. — № 2(5). — P. 112-118.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alekseenko V.A. Metally v okruzhajuschej srede [Metals in the Environment] / V.A. Alekseenko. — Moscow: University Book, 2015. — 264 p. [in Russian]
2. Doklad ob ekologicheskoj situatsii v Respublike Severnaia Osetiia-Alaniia v 2022 godu [Report on the Environmental Situation in the Republic of North Ossetia-Alania in 2022] / Ministry of Natural Resources and Environment of the Republic of North Ossetia-Alania. — Vladikavkaz, 2023. — 52 p. [in Russian]
3. Drugov D.I. Analiz zagrjaznennoj pochvy i opasnyh othodov [An Analysis of Contaminated Soil and Hazardous Waste] / D.I. Drugov. — Moscow: Binom, 2016. — 424 p. [in Russian]
4. Lepp N.V. The Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. Metals in the Environment, Pollution Monitoring Series / N.V. Lepp. — Liverpool: Applied Science Publishers, 2012. — 356 p.
5. Seregin I.V. Fiziologicheskie aspekty toksicheskogo dejstviya kadmija i svintsna na vysshie rasteniya [Physiological Aspects of the Toxic Effects of Cadmium and Lead on Higher Plants] / I.V. Seregin, V.B. Ivanov // Fiziologija rastenij [Plant Physiology]. — 2001. — Vol. 48. — № 4. — P. 606-630. [in Russian]
6. Simeonidi D.D. Vlijanie ionov tjazhelyh metallov (na primere medi i svintsna) na sostojanie i rost rastenij [Effect of Heavy Metal Ions (Copper and Lead as Examples) on Plant Condition and Growth] / D.D. Simeonidi, I.M. Bigaeva, F.A. Agaeva et al. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2022. — № 12(126). — DOI: 10.23670/IRJ.2022.126.68. [in Russian]
7. Titov A.F. Ustojchivost` rastenij k kadmiyu (na primere semejstva zlakov) [Plant Resistance to Cadmium (on the example of cereals family)] / A.F. Titov, N.M. Kaznina, V.V. Talanova. — Petrozavodsk: Karelian Scientific Centre of RAS, 2012. — 55 p. [in Russian]
8. 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. — Institute of Physics Publishing, 2019. — DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032053.
9. Ding, Q. Effects of Natural Factors on the Spatial Distribution of Heavy Metals in Soils Surrounding Mining Regions / Q. Ding, G. Cheng, Y. Wang et al. // Science of the Total Environment. — 2017. — № 578. — P. 577-585.
10. Duruibe J.O. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects / J.O. Duruibe, M.O.C. Ogwuegbu, J.N. Ekwurugwu // International Journal of Physical Sciences. — 2007. — № 2(5). — P. 112-118.