

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПОЧВАХ ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**
**ANALYSIS OF CHANGES IN THE CONTENT OF HEAVY METALS
IN SOILS OF BACKGROUND TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

К. М. Мукина, М. Л. Синуцкая
K. M. Mukina, M. L. Sinitskaya

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kem@iseu.by, marina.si.mary@gmail.com*

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus*

В данной статье представлен анализ данных Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь по результатам наблюдений содержания Ni, Cu, Zn, Cd и Pb в почвах сети фоновых мониторинга за период 2006–2022 годы. В ходе работы были выявлены максимальные и минимальные концентрации тяжелых металлов за весь период наблюдений. Рассчитаны темпы прироста или снижения концентраций тяжелых металлов в почве.

This article presents the analysis of data from the National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus based on the results of observations of the content of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in the soil of the background monitoring network for the period 2006–2022. In the course of the work, the maximum and minimum concentrations of heavy metals were identified over the entire observation period. The rates of increase or decrease in concentrations of heavy metals in the soil were calculated.

Ключевые слова: тяжелые металлы, фоновый мониторинг, фоновая территория, мониторинг почв, экология.

Keywords: heavy metals, background monitoring, background territory, soil monitoring, ecology.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-71-75>

Одной из актуальных проблем экологии является загрязнение окружающей среды, в частности почв. Почвы являются важным компонентом биосферы, обеспечивающим существование и развитие живых организмов. Среди наиболее часто встречающихся загрязняющих веществ почвы можно выделить тяжелые металлы (ТМ): никель, медь, цинк, кадмий, свинец и другие. Они обладают высокой токсичностью и способностью накапливаться в организмах, вызывая различные заболевания.

Все источники тяжелых металлов в окружающую среду подразделяются на естественные (природные) и антропогенные (техногенные). К естественным источникам поступления ТМ относят: горные породы, минералы, вулканы и метеориты. К антропогенным: промышленные предприятия, сельское хозяйство, автотранспорт, добыча полезных ископаемых, продукты сжигание топлива и отходов [1].

Для проведения мониторинга за состоянием окружающей среды и контроля за воздействием на нее различных видов хозяйственной деятельности в 1993 году была создана Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС).

Наблюдения за химическим загрязнением почв на фоновых территориях в Республике Беларусь проводятся на специальной сети пунктов наблюдений. Сеть состоит из 90 пунктов, которые равномерно расположены по территории страны в местах, где нет антропогенной нагрузки. Ежегодно наблюдения проводятся на 15–18 пунктах, а полный цикл мониторинга по всей сети проводят за 6 лет.

На основе данных представленных НСМОС в виде результатов наблюдений за 2006–2022 годы были построены графики содержания тяжелых металлов в почве сети фоновых мониторинга представленные на рисунках 1–5 [2]. В некоторые годы отсутствуют данные по областям. Так по Брестской области не представлены данные за 2007, 2010, 2013 и 2015 годы. По Витебской области за 2009, 2012 и 2015 годы, Гомельской, Минской и Могилевской за 2014 год, Гродненской за 2006, 2009, 2012, 2014 и 2015 годы.

В работе анализируются концентрации следующих тяжелых металлов: никель, медь, цинк, кадмий и свинец, поскольку по ним мониторинг проводился за весь период наблюдений 2006–2022 годы.

Никель (от нем. Nickel – горный дух, Ni) – химический элемент VIII группы 4 периода периодической системы Менделеева с атомным номером 28. Является 23 по распространенности элементом в земной коре [3]. Минералы содержащими никель являются: никельсодержащий лимонит, гарниерит, пентландит и др.

Степень окисления никеля от +1 до +4. В почве никель менее доступный при высоком значении pH, поскольку образует плохо растворимые комплексы с органическими веществами. Было обнаружено, что никель и кадмий являются антагонистами друг друга поскольку конкурируют за одни и те же мембранные носители в растениях. График изменения концентраций никеля в почве на фоновых площадках за период 2006–2022 годы представлен на рисунке 1.

По республике концентрация никеля в почве на фоновых территориях за период 2006–2022 годы три раза резко увеличивалась и один раз уменьшалась. Так в 2007, 2015 и 2021 годах значения увеличились в 1,7, 2 и 3,4 раза соответственно по отношению к предшествующим годам. А в 2020 году значение снизилось в 2,7 раза к 2019 году. Темп прироста в 2022 году – 45,8 % по отношению к 2006 году.

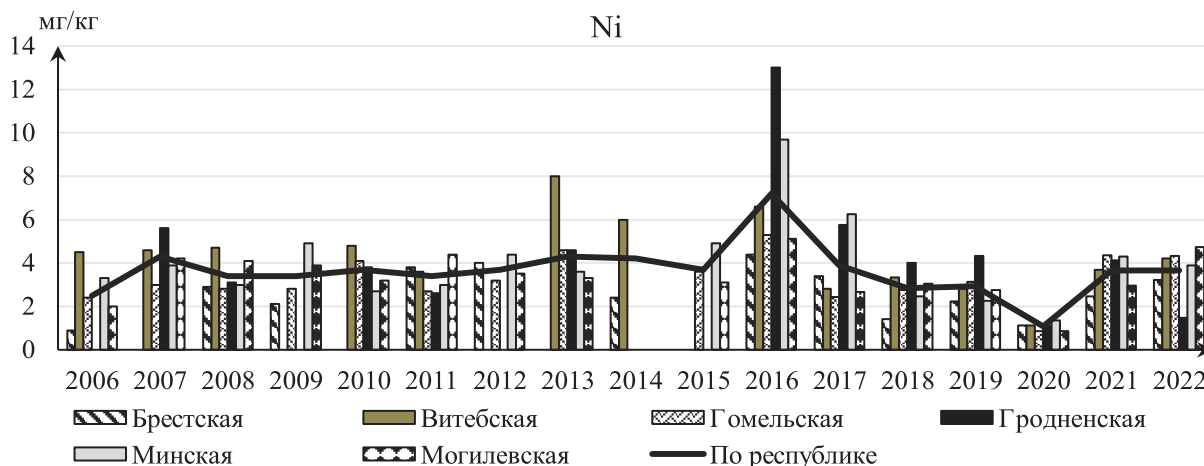


Рисунок 1 – Динамика изменения среднего содержания никеля в почвах на фоновых территориях за период 2006–2022 годы

За период 2006–2022 гг. превышение ПДК по содержанию никеля в почве не было ни на одной фоновой территории. За данный период максимум значений был у Витебской и Минской областей по 5 раз, Гродненской 4 раза, Могилевской 2 раза и Гомельской 1 раз. Минимум значений у Брестской области 7 раз, Гомельской 5 раз, Могилевской 3 раза, Гродненской 2 раза и Минской 1 раз (в 2020 году минимальное значение одновременно у Гомельской и Могилевской областей). В 2016 году максимальные значения Гродненской и Минской областей выделяются как на фоне значений других годов данных областей, так и на фоне концентраций других областей в данном году. Значение гродненской области 2016 года 13 мг/кг является рекордным за всего годы рассматриваемого периода по областям. А значение Гомельской и Могилевской областей 8,7 мг/кг в 2020 году является минимальным за все годы данного периода.

Медь (от лат. aes сургиум – металл Кипра, Cu) – химический элемент IV группы 4 периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 29. Медь находится на 26 месте по распространению в земной коре [3]. В природе встречается как в самородном виде, так и в соединениях. Известно свыше 200 медьсодержащих минералов, но 90 % всей меди находится в халькопирите, борните, халькозине и кубаните. График изменения концентраций меди в почве на фоновых площадках за период 2006–2022 годы представлен на рисунке 2.

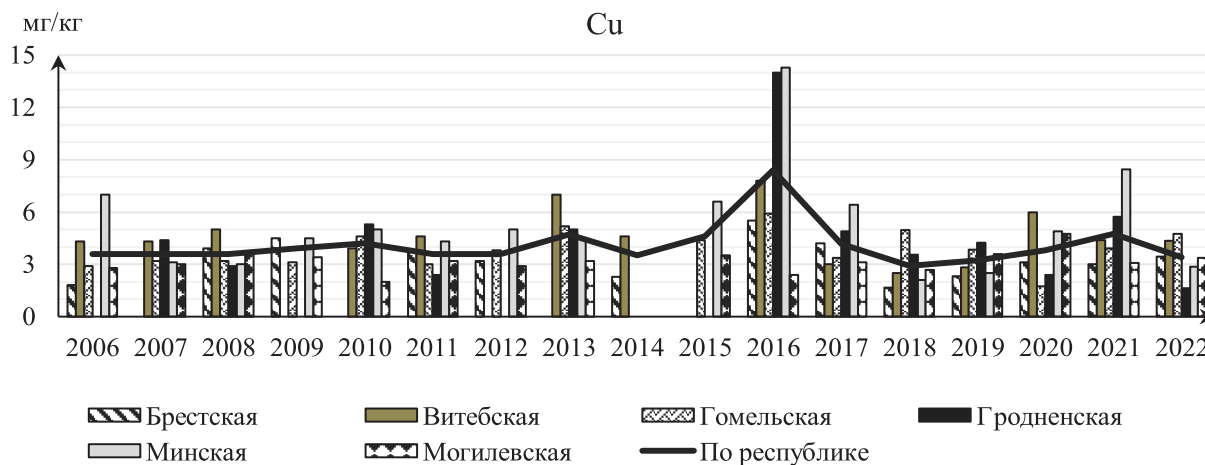


Рисунок 2 – Динамика изменения среднего содержания меди в почвах на фоновых территориях за период 2006–2022 годы

В исследовании [4] говорится об антагонистическом поведении между медью и цинком, и при этом приводятся данные о том, что медь усиливает токсичные свойства цинка в растениях. Медь является малоактивным металлом

с степенью окисления +1 и +2. При низком значении pH подвижность меди очень высокая. С увеличением pH медь образует мало- или нерастворимые оксиды или сульфиды в связи с чем её подвижность падает.

По республике концентрация меди в почве на фоновых территориях за период 2006–2022 годы имеет равномерное распределение в интервале 2,91÷4,76 мг/кг и один резкий скачок в 2016 году до 8,4 мг/кг. В целом среднее содержание меди в почве на фоновых территориях сократилось на 5,56 % от 2006 года.

Превышения ПДК за 2006–2022 годы по содержанию меди в почве не было. За исследуемый период максимум значений был у Витебской и Минской областей по 6 раз, Гомельской 3 раза, Гродненской 2 раза, Брестской 1 раз (в 2009 году максимальное значение было одновременно у Брестской и Минской областей). Минимум значений у Могилевской области 6 раз, Брестской 5 раз, Гродненской 3 раза, Гомельской 2 раз и Витебской 1 раз. Как и по никелю в 2016 году ярко выражены максимальные значения Гродненской и Минской областей. Рекордным значением содержания меди является 14,3 мг/кг по Минской области. Самым минимальным значением за весь период мониторинга является 1,63 мг/кг в 2022 году в Гродненской области.

Цинк (нем. Zinke – зубец, Zn) – химический элемент IIВ группы 4 периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 30. Находится на 24 месте по распространению в земной коре [3]. Известно более 60 минералов, содержащих цинк, первичным считается сфалерит, содержащий сульфид цинка. График изменения концентраций цинка в почве на фоновых площадках за период 2006–2022 годы представлен на рисунке 3.

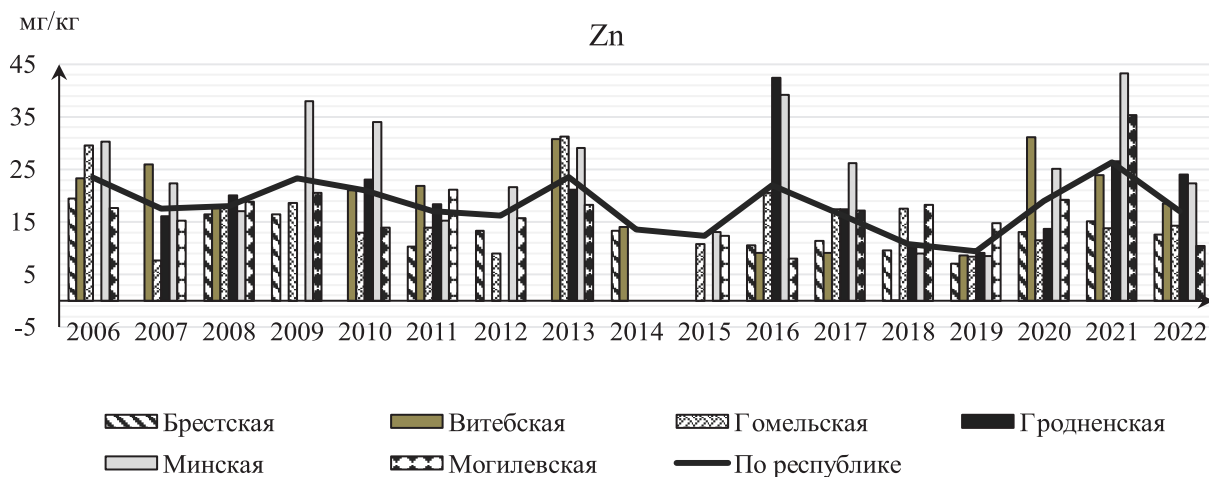


Рисунок 3 – Динамика изменения среднего содержания цинка в почвах на фоновых территориях за период 2006–2022 годы

Цинк является умеренно реактивным металлом, основная степень окисления которого +2 и редко +1. При низком значении pH минеральные соли и органические соединения цинка хорошо растворяются, что увеличивает его подвижность в почве. При высоких значениях pH образуются малорастворимые соединения и активность цинка снижается, также на это сильно влияет присутствие фосфатов.

По республике концентрация цинка в почве на фоновых территориях за период 2006–2022 годы изменялась скачкообразно. До 2019 года явно сохранялась тенденция к снижению цинка в почве. Так в 2019 году концентрация цинка составила 9,2 мг/кг – минимальное значение за весь период. Максимальное значение 26,35 мг/кг наблюдается в 2021 году. В целом к 2022 году содержание цинка в почве сократилось на 27,23 % по отношению к 2006 году.

За период 2006–2022 гг. превышение ПДК по содержанию цинка в почве не было не на одной фоновой территории. За данный период максимум значений был у Минской области по 7 раз, Витебской 4 раза, Гродненской 3 раза, Могилевской 2 раза и Гомельской 1 раз. Минимум значений у Гомельской области 6 раз, Брестской 5 раз, Могилевской 4 раза и Витебской 2 раза. В 2021 году у Минской области значение концентрации цинка в почве на фоновых территориях 43,2 мг/кг является максимальным за весь анализируемый период. Минимальное значение приходится на Витебскую область в 2018 году – 0,08 мг/кг.

Кадмий (от греч. κάδμεια – Кадм (мифологический персонаж), Cd) – химический элемент IIВ группы 5 периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 48. Кадмий занимает 66 место среди элементов земной коры и является рассеянным металлом входящим в состав руд других элементов в основном цинка, свинца и меди [3]. Минералы, содержащие кадмий, очень редкие, и их представителями являются гринокит, отавит, монтепонит и др. График изменения концентраций кадмия в почве на фоновых площадках за период 2006–2022 годы представлен на рисунке 4.

Степень окисления кадмия +1 и +2. При низких значениях pH хорошо растворяются соединений кадмия, и увеличивается его подвижность. При значениях pH выше 6 кадмий аккумулируется в почвах вместе с гидроксидом железа, марганца и алюминия [5].

Концентрация кадмия в почве на фоновых территориях Республики Беларусь за период 2006–2022 годы снижается. Наблюдаются резкие скачки концентраций в 2007 и 2015 годах до 0,49 мг/кг и 0,26 мг/кг соответственно. Однако в целом тенденция к снижению сохраняется на протяжении всего периода. И в 2022 году по сравнению с 2006 годом концентрация уменьшилась на 60 %.

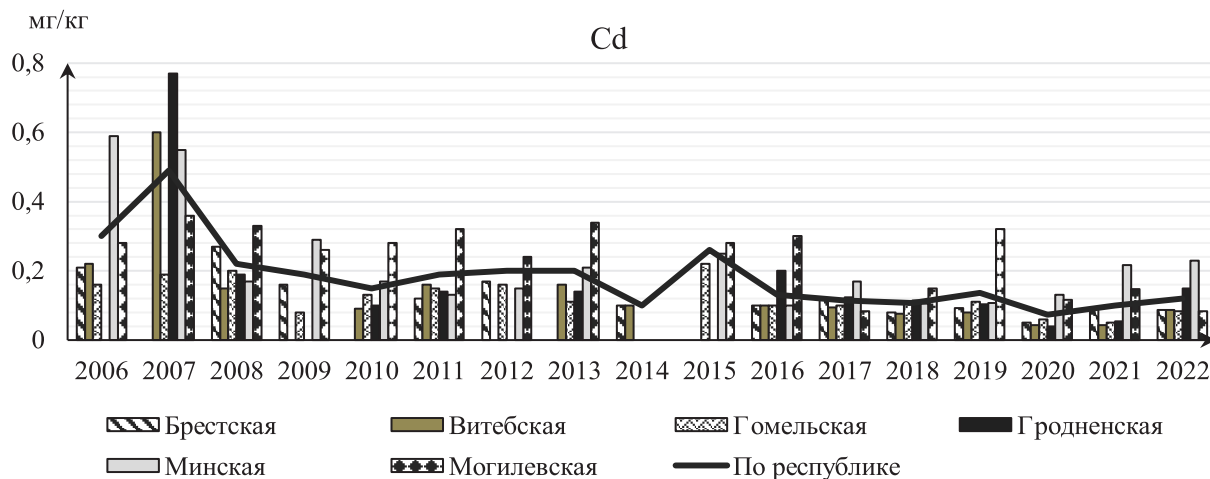


Рисунок 4 – Динамика изменения среднего содержания кадмий в почвах на фоновых территориях за период 2006-2022 годы

За период с 2006 года по 2022 год превышение ПДК не обнаружено. За данный период максимум значений был у Могилевской области 9 раз, Минской 6 раз и Гродненской 1 раз. Минимум значений у Витебской и Гомельской областей по 6 раз, Брестской 4 раза, Могилевской 3 раза, Минской 2 раза и Гродненской 1 раз (в 2014, 2016 и 2022 годах минимум приходился на несколько областей одновременно). За весь анализируемый период самое максимальное содержание кадмия в почве приходится на Гродненскую область в 2007 году – 0,77 мг/кг. Самое минимальное значение приходится на 2020 год в Гродненской области – 0,04 мг/кг.

Свинец (лат. Plumbum, Pb) – элемент IV группы 6 периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева, с атомным номером 82. Занимает 36 место по нахождению в земной коре [3]. В самородном виде встречается редко, входит в состав около 80 минералов: галенит, англезит и др. Также свинец присутствует во всех минералах, содержащих уран и торий в результате α -распада данных элементов.

В соединениях свинец находится в степени окисления +2 и +4 и проявляет аморфные свойства. Для свинца характерно стремление к аккумуляции в почве, поскольку подвижность его ионов мала даже при низких значениях pH [5]. График изменения концентраций свинца в почве на фоновых площадках за период 2006–2022 годы представлен на рисунке 5.

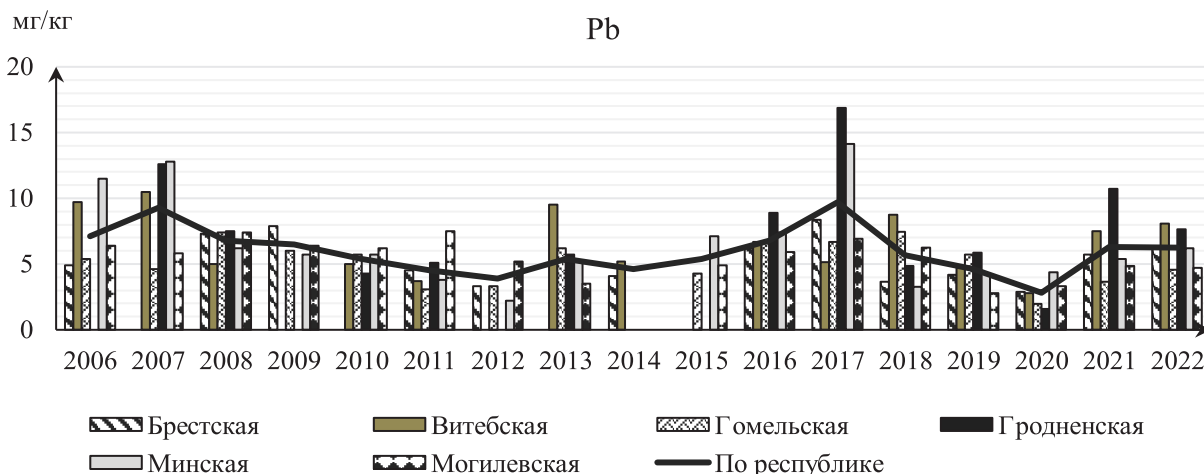


Рисунок 5 – Динамика изменения среднего содержания свинца в почвах на фоновых территориях за период 2006-2022 годы

По Республике концентрация свинца до 2012 года снижается и составляет 3,9 мг/кг. Затем она вырастает и в 2017 году достигает 9,7 мг/кг – максимальное значение анализируемого периода. В период 2017–2020 годы концентрация снова снижается до минимума периода – 2,82 мг/кг. К 2022 году содержание свинца увеличивается до 6,27 мг/кг. В целом концентрация свинца по республике снижается не изначально на 11,66 % в 2022 году по отношению к 2006 году.

Превышения ПДК не было не обнаружено за весь период 2006–2022 гг. За данный период максимум значений был у Гродненской области 5 раз, Минской и Витебской по 4 раза, Могилевской 3 раза и Брестской 1 раз. Минимум значений у Гомельской области по 5 раз, Минской и Могилевской по 3 раза, Брестской, Витебской и Гродненской по 2 раза. За весь анализируемый период самое максимальное содержание свинца в почве приходится на Гродненскую область в 2017 г. – 16,9 мг/кг. Самое минимальное значение приходится на 2020 год в Гродненской области – 1,6 мг/кг.

Анализ динамики среднего содержания тяжелых металлов не выявил превышения ПДК в почвах на сети фонового мониторинга в разрезе областей за 2006–2022 гг. Среднее содержание по Республике Беларусь ТМ на фоновых территориях сократилось хрома на 14,73 %, меди на 5,5 %, цинка на 27,23 %, кадмия на 60 % и свинца на 11,66 % в почве от 2006 года. Марганец имеет тенденцию к увеличению концентрации в почве и темп прироста в 2013 году составил 14,8 % по отношению к 2006 году. А темп прироста содержания никеля в 2022 году – 45,8 % по отношению к 2006 году. Концентрация мышьяка и ртути снизилась в 2022 году на 24,27 % и 75 % по сравнению с 2018 и 2017 годами соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальков, В.Ф., Экология почв: учеб. Пособие : в 3 ч. / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 2004. – Ч. 3. – 54 с.
2. Результаты наблюдений НСМОС, 2006 г. [Электронный ресурс] // Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – Режим доступа: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.nsmos.by%2Ftmp%2Ffckimages%2F01_Zemli.doc&wdOrigin=BROWSELINK – Дата доступа: 27.01.2024.
3. Abundance_of_elements_in_Earth [Electronic resource] / Wikipedia. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_elements_in_Earth%27s_crust. – Дата доступа: 01.02.2024.
4. Chibuike, G. U. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods / G. U. Chibuike, S. C. Obiora // Applied and Environmental Soil Science. – 2014. – V. 2014. – P. 12.
5. Водяницкий, Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 86 с.

АМАРАНТ ОВОЩНОЙ *AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS* L. КАК УНИВЕРСАЛЬНАЯ КУЛЬТУРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

VEGETABLE *AMARANTHUS HYPOCHONDRIACUS* L. AS A UNIVERSAL CULTURE FOR FOOD PRODUCTION AND SOIL FERTILITY RESTORATION

А. Э. Юницкий, Н. С. Зыль, И. В. Налётюв
A. E. Unitsky, N. S. Zyl, I. V. Naletov

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь
n.zil@unitsky.com
Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

В статье описаны основные преимущества использования амаранта в качестве источника высококачественного пищевого зерна и зелёного удобрения перед использованием наиболее широко распространённых зерновых, крупяных и сидеральных культур. Проведён сравнительный анализ содержания ценных нутриентов в зёрнах амаранта и других культур, приведены данные по восстановлению загрязнённых нефтью и тяжёлыми металлами почв при применении амаранта в качестве сидерата.

The article describes the main advantages of using amaranth as a source of high-quality food grain and green manure crops over the usage of the most widespread grains, cereals and other green manure crops. A comparative analysis of the content of valuable nutrients in amaranth grains and other crops was carried out, and data on the restoration of soils contaminated with oil and heavy metals when using amaranth as green manure was provided.

Ключевые слова: амарант, зерновые культуры, безглютеновая диета, восстановление почв, сидеральные культуры.

Keywords: amaranth, grain crops, gluten-free diet, soil restoration, green manure crops.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-75-79>

История амаранта овощного (*Amaranthus hypochondriacus* L.) насчитывает тысячелетия выращивания и использования в пищу. Растение *A. hypochondriacus* L. было известно древним цивилизациям в Центральной и Южной Америке, таким как индейцы Ацтеки и Майя («пшеница ацтеков», «хлеб инков»), наряду с бобовыми культурами и кукурузой. Индейцы выращивали его для пищи и использовали для религиозных обрядов. Примерно в 16–17 веках испанские завоеватели запретили выращивание *A. hypochondriacus* L., так как связали его с языческими обрядами. Это привело к тому, что амарант был забыт в течение нескольких столетий.