

ВЕСТНИК

БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

Научно-методический журнал
Издается с января 2003 г.
Периодичность издания – 4 раза в год

2020 № 3

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь журнал включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным, техническим (сельскохозяйственное машиностроение) и экономическим (агропромышленный комплекс) наукам

СОДЕРЖАНИЕ

АГРАРНАЯ ЭКОНОМИКА

С. И. Артеменко, А. М. Артеменко. Перепроектирование института лизинга сельскохозяйственной техники на основе идентификации первичных отношений между участниками льняного бизнеса	5
Ал. В. Колмыков. Методика оптимизации структуры и размеров агропроизводственных кластеров административных районов Беларуси	13
М. И. Запольский, С. В. Голос. Перспективная организационно-экономическая модель кластерного развития АПК Могилевской области	21
И. Н. Жудро. Методические инструменты сбалансированного регулирования величины ставок земельного налога	29
А. И. Подлипский. Подходы к проблеме распределения доходов между участниками агропромышленных объединений	34
О. Н. Сухоцкая. Экономическая сущность мелкотоварного производства в аграрном секторе экономики: теоретический аспект	39
А. А. Рудой. Особенности функционирования организаций, занятых переработкой плодово-ягодной продукции	45
О. А. Мерзлова, А. В. Шадраков. Предварительная оценка программы социально-экономического развития юго-восточного региона Могилевской области	52
Е. В. Кокиц. Методика определения эффективности логистической деятельности на предприятиях свеклосахарного подкомплекса	57
А. Н. Гридошко, А. В. Грибов. Проблемные аспекты эффективного использования ресурсного потенциала аграрной отрасли	61
Е. П. Державцева. Особенности воспроизводства в сельском хозяйстве	67
А. Н. Маёров. Формы сбыта аграрных организаций Могилёвской области и их правовое регулирование	75

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Т. Ф. Персикова, М. В. Царёва. Влияние гранулометрического состава дерново-подзолистой почвы и биологических особенностей сельскохозяйственных культур на содержание, запасы и качество гумуса при внесении куриного помёта	79
О. В. Ткач. Продуктивность хлорофилла в листьях цикория корнеплодного в зависимости от сроков посева и наличия влаги в почве	84
О. А. Порхунцова, С. В. Егоров. Скрининг исходного материала в селекции на качество семян льна масличного	88
Н. Э. Хизанейшвили. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность корнеплодов столовой свеклы, их качество и вынос элементов питания	94
В. Н. Прохоров, А. Л. Исакова, А. В. Исаков. Сравнительная характеристика сортов Радасць и Сунічны водар нигеллы дамасской (<i>Nigella damascena</i> L.)	99

Ю. С. Малышкина, Е. В. Равков. Скрининг коллекции узколистного люпина на резистентность к антракнозу	103
А. Л. Исакова, А. В. Исаков, В. Н. Прохоров, Н. А. Коваленко, Е. В. Феськова. Сорт Беларускаі духмяны нигеллы посевной (<i>Nigella sativa</i> L.)	108
В. А. Емелин, Б. В. Шелюто. Влияние фаз развития растений, минеральных и органических удобрений на продуктивность, силфийи понзеннолистной, химический состав и питательную ценность зеленой массы	112
Д. В. Гатальская, Ю. С. Малышкина, Е. В. Равков. Селекция жёлтого люпина на семенную продуктивность и резистентность к антракнозу	117
Е. В. Костицкая, Б. В. Шелюто. Получение урожайности семян силфийи пронзеннолистной в зависимости от способов посева	122
И. П. Козловская. Оценка производственного потенциала и пути формирования нового технологического уклада в тепличном овощеводстве Беларуси	127
М. В. Сандалова, Р. М. Пугачёв. Оценка элитных сеянцев земляники садовой ремонтантного типа в первичном сортоизучении в условиях северо-востока Республики Беларусь	131
Т. А. Анохина, А. Р. Цыганов, И. В. Полховская, Н. Д. Полховский. Перспективы повышения производства гречихи путем оптимизации минерального питания с учетом морфотипа растений	135
В. В. Скорина, И. Г. Кохтенкова. Селекционная оценка сортообразцов чеснока озимого (<i>Allium sativum</i> L.) на зимостойкость	139
В. А. Шаршунов, Е. Н. Урбанчик, А. И. Масальцева, М. Н. Галдова. Комплексная оценка качества и интенсификация процесса проращивания овса голозерного белорусской селекции	144
Н. П. Купреенко, В. В. Корецкий, В. В. Скорина. Оценка исходного материала чеснока озимого на накопление селена	149
О. А. Порхунцова, В. Н. Томашева. Использование гистологических признаков стеблей в селекции льна масличного	154
В. Б. Воробьев. Трендовая модель энергетической эффективности возрастающих доз азотного удобрения в посевах ячменя при разном содержании гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве	159
А. В. Ключков, О. С. Ключкова, О. Б. Соломко. Проращивание семян в магнитном поле	163

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц. Определение размерных характеристик компонентов вохроа льнокостры	169
П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов. Математическая модель процесса механического транспортирования полужидкого навоза по каналу круглого поперечного сечения	176
В. А. Шапорев. Исследование процесса сгорания дизельного двигателя 4чн 11,0/12,5 при работе на смесях дизельного топлива с биогазом	182
А. Н. Кудрявцев, В. Н. Босак. Анализ травматизма на производстве в Республике Беларусь	188
А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, В. П. Чеботарев, К. Л. Пузевич, С. И. Козлов. Схема обоснования размеров фрезерного диска и размещения почвозацепов рыхлителя	194
Л. Я. Степук, В. Р. Петровец. Механизация, экологизация и экономика сферы химизации земледелия Беларуси: проблемы и пути решения	198

МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

Т. Н. Мыслыва. Использование методов геостатистики для оценки пространственного распределения ксилоторастворимого цинка в почве	205
О. В. Тишкович, В. М. Яцухно. Эколого-экономическая оценка ущерба от водной эрозии почв сельскохозяйственных земель административных районов Беларуси	212
О. Н. Левшук. Риск загрязнения тяжелыми металлами урбаноземов г. Горки	217
А. В. Колмыков, А. Н. Авдеев. Земельная реформа и землеустройство в Республике Беларусь	226

ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В. В. Великанов, Н. Г. Трапянок. Современная аспирантура: особенности формирования новой генерации ученых (по материалам социологических опросов)	233
--	-----

ИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА

Е. В. Грузинская. Препятствия реализации китайско-белорусских проектов с привлечением связанных китайских ресурсов	237
---	-----

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КРУГОЗОР

Э. А. Петрович, М. З. Фрейдин. Белорусский рынок картофеля: состояние и перспективы	244
В. М. Босак, А. А. Босак. Гаворкі верхняга Над'ясельдзя	255
Ф. В. Зиновьев, В. А. Дудко. К вопросу об оценке качества жизнедеятельности студентов	259

BULLETIN

OF THE BELARUSSIAN STATE AGRICULTURAL ACADEMY

The guidance journal
is published since January, 2003
Periodicity: issued four times a year

2020 № 3

According to the order of the High Attestation Commission of the Republic of Belarus the journal has been included in the list of scientific works for publishing results of theses on agricultural, technical (agricultural machine building) and economic (agrarian economics) sciences

CONTENTS

AGRICULTURAL ECONOMICS

S. I. Artemenko, A. M. Artemenko. Re-designing of the institute of leasing of agricultural equipment on the basis of identification of primary relations between the participants of flax business.....	5
Al. V. Kolmykov. Methods of optimization of structure and sizes of agricultural production clusters of administrative districts of Belarus.....	13
M. I. Zapolskii, S. V. Golos. Promising organizational-economic model of cluster development of agro-industrial complex of Mogilev region.....	21
I. N. Zhudro. Methodical instruments of balanced regulation of land tax rate.....	29
A. I. Podlipskii. Approaches to the problem of distribution of incomes between the participants of agro-industrial associations.....	34
O.N. Sukhotskaia. Economic essence of small commodity production in the agrarian sector of the economy: theoretical aspect.....	39
A. A. Rudoi. Fruit-and-berry processing organizations functioning features.....	45
O. A. Merzlova, A. V. Shadrakov. Preliminary estimation of the programme of social and economic development of the south-eastern area of Mogilev region.....	52
E. V. Kokits. Methods of determination of efficiency of logistics activity at the enterprises of beet sugar subcomplex....	57
A. N. Gridiushko, A. V. Gribov. Problem aspects of efficient use of resource potential of agrarian branch.....	61
E. P. Derzhavtseva. Features of reproduction in agriculture.....	67
A. N. Maerov. Forms of sales in the agrarian organizations of Mogilev region and their legal regulation.....	75

FARMING AND PLANT-GROWING

T. F. Persikova, M. V. Tsareva. The influence of granulometric composition of sod-podzolic soil and biological features of crops on the content, store and quality of humus with application of chicken droppings.....	79
O.V. Tkach. The productivity of chlorophyll in leaves of root chicory depending on the time of sowing and presence of moisture in the soil.....	84
O. A. Porkhuntsova, S. V. Egorov. Screening of initial material in selection according to oil flax seeds quality.....	88
N. E. Khizaneishvili. The influence of macro- and micro-fertilizers on the yield of roots of table beet, their quality and output of nutrients.....	94
V. N. Prokhorov, A. L. Isakova, A. V. Isakov. Comparative characteristics of varieties Radasts and Sunichny Vodar of <i>Nigella damascene</i> L.....	99
Iu. S. Malyshkina, E. V. Ravkov. Screening of narrow-leaved lupine collection according to resistibility to anthracnosis.....	103

A. L. Isakova, A. V. Isakov, V. N. Prokhorov, N. A. Kovalenko, E. V. Feskova. Variety Belarusian dukhmiany of <i>Nigella sativa</i> L.	108
V. A. Emelin, B. V. Sheliuto. The influence of plant development phases and mineral and organic fertilizers on productivity, chemical composition and nutritional value of green mass of <i>Silphium perfoliatum</i> L.	112
D. V. Gatalskaia, Iu. S. Malyshkina, E. V. Ravkov. Selection of yellow lupine for seed productivity and anthracnose resistibility	117
E. V. Kostitskaia, B. V. Sheliuto. The yield of seeds of <i>Silphium perfoliatum</i> L. depending on the methods of sowing	122
I. P. Kozlovskaja. Estimation of production potential and ways of formation of new technological setting in greenhouse vegetable growing of Belarus	127
M. V. Sandalova, R. M. Pugachev. Estimation of elite seedlings of garden strawberry of everbearing type in primary variety testing in the conditions of the north-east of the Republic of Belarus	131
T. A. Anokhina, A. R. Tsyganov, I. V. Polkhovskaja, N. D. Polkhovskii. Prospects of increased production of buckwheat by optimizing mineral feeding taking into account plant morphotype	135
V. V. Skorina, I. G. Kokhtenkova. Selection estimation of variety samples of <i>Allium sativum</i> L. according to winter hardiness	139
V. A. Sharshunov, E. N. Urbanchik, A. I. Masaltseva, M. N. Galdova. Complex estimation of quality and intensification of germination process of naked oat of Belarusian selection	144
N. P. Kupreenko, V. V. Koretskii, V. V. Skorina. Estimation of initial material of winter garlic according to selenium accumulation	149
O. A. Porkhuntsova, V. N. Tomasheva. The use of histological indicators of stems in oil flax selection	154
V. B. Vorobev. Trend model of energy efficiency of increased doses of nitrogen fertilizer in barley crops with different content of humus in sod-podzolic light loamy soil	159
A. V. Klochkov, O. S. Klochkova, O. B. Solomko. Germinating seeds in a magnetic field	163

MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

V. A. Sharshunov, N. S. Sentiurov, M. V. Tsaits. Determination of size characteristics of components of flax straw heap	169
P. Iu. Krupenin, A. K. Rendov. Mathematical model of the process of mechanical transportation of semi-liquid manure along the channel of round cross-section	176
V. A. Shaporev. Research into the process of combustion of diesel engine 4ChN 11.0/12.5 working on mixtures of diesel fuel with biogas	182
A. N. Kudriavtsev, V. N. Bosak. Analysis of industrial injuries in the Republic of Belarus	188
A. I. Filippov, E. V. Zaiats, V. P. Chebotarev, K. L. Puzevich, S. I. Kozlov. The scheme of substantiating the size of chisel disc and placement of loosener grousers	194
L. Ia. Stepuk, V. R. Petrovets. Mechanization, environmentalization and economy of chemization in Belarusian farming: problems and ways of solving	198

MELIORATION AND LAND USE PLANNING

T. N. Myslyva. Use geostatistics tools for evaluation the spatial distribution of acid-soluble zinc in the soil	205
O. V. Tishkovich, V. M. Iatsukhno. Ecological-economic estimation of the damage from water erosion of the soils of agricultural lands in administrative districts of Belarus	212
O. N. Levshuk. The risk of contamination by heavy metals of urban soils in the city of Gorki	217
A. V. Kolmykov, A. N. Avdeev. Land reform and land management in the Republic of Belarus	226

INNOVATIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

V. V. Velikanov, N. G. Trapianok. Modern postgraduate studies: features of formation of new generation of scientists (according to materials of opinion polls)	233
---	-----

FROM INTERNATIONAL EXPERIENCE

E. V. Gruzinskaia. Obstacles to implementation of Chinese-Belarusian projects involving related Chinese resources	237
--	-----

PROFESSIONAL OUTLOOK

E. A. Petrovich, M. Z. Freidin. Belarusian potato market: current state and prospects	244
V.M. Bosak, A.A. Bosak. Dialects of the Upper Over-Yaselda	255
F.V. Zinovev, V.A. Dudko. About the issue of students' life quality estimation	259

РИСК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ УРБАНОЗЕМОВ Г. ГОРКИ

О. Н. ЛЕВШУК

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: levshuk-2011@mail.ru

(Поступила в редакцию 30.06.2020)

Оценка уровней и риска загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова представляет собой актуальную научную задачу, поскольку именно в почве замыкаются большой и малый круговороты химических веществ и происходит миграция в системах «почва – вода» и «почва – растение». На основании собственных экспериментальных исследований выполнена комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами (Cu, Zn, Pb, Cd) урбаноземов в пределах территории с индивидуальной жилой застройкой г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь) с использованием ряда индикаторных показателей: величины фактора контаминации; индекса потенциального экологического риска; уровня контаминации, комплексного индекса загрязнения; индекса потенциального экологического риска. Определение содержания тяжелых металлов выполнялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии, а их экстрагирование производилось в $1\text{M H}_2\text{SO}_4$. Медианное значение содержания в почве меди, цинка и свинца превышает значения ПДК, тогда как медианное значение содержания кадмия составляет 0,34 ПДК, а процент проб с превышением ПДК составляет только 7 % от общего количества. Установлено, что приоритетным загрязнителем урбаноземов является кислоторастворимый цинк, величина фактора контаминации которого варьирует от 2,29 до 437,35. Характер распределения поллютантов в почве имеет неравномерный мозаичный характер, свидетельствующий о наличии значительного количества локальных источников загрязнения техногенного происхождения. Урбаноземы на территории г. Горки имеют умеренную степень загрязнения свинцом и кадмием и высокую степень загрязнения медью, а элементы-загрязнители располагаются в следующий убывающий ряд: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Относительно низким уровнем загрязнения тяжелыми металлами характеризуется южная часть города, а максимальные концентрации поллютантов фиксируются в урбаноземках юго-западной и центральной его части.

Ключевые слова: тяжелые металлы, урбаноземы, загрязнение, оценка, риск.

Assessment of the levels and risk of contamination by heavy metals of the soil cover is an urgent scientific problem, since it is in the soil that the large and small cycles of chemicals are locked and migration occurs in the «soil – water» and «soil – plant» systems. On the basis of our own experimental studies, a comprehensive assessment of the contamination by heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd) of urban soils within the territory with individual residential buildings in the city of Gorki (Mogilev region, Republic of Belarus) was carried out using a number of indicator values: the value of contamination factor; potential environmental risk index; contamination level, integrated pollution index; index of potential environmental risk. Determination of the content of heavy metals was carried out by atomic absorption spectrometry, and their extraction was carried out with $1\text{M H}_2\text{SO}_4$. The median value of the content of copper, zinc and lead in the soil exceeds the MPC values, while the median value of the cadmium content is 0.34 MPC, and the percentage of samples exceeding the MPC is only 7 % of the total amount. It has been established that the priority pollutant of urban soils is acid-soluble zinc, the value of contamination factor of which varies from 2.29 to 437.35. The distribution of pollutants in the soil has an uneven mosaic character, indicating the presence of a significant number of local sources of pollution of technogenic origin. Urban soils on the territory of Gorki have a moderate degree of lead and cadmium contamination and a high degree of copper contamination, and the pollutant elements are arranged in the following decreasing order: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$. The southern part of the city is characterized by a relatively low level of pollution by heavy metals, and the maximum concentrations of pollutants are recorded in the urban soils of the southwestern and central parts of it.

Key words: heavy metals, urban soils, pollution, assessment, risk.

Введение

Согласно задачи 2.4 цели 2 – ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства Повестки дня в области устойчивого развития, одобренной на 70 сессии Генеральной Ассамблеи ООН, к 2030 году Беларусь должна обеспечить создание устойчивых систем производства продуктов питания и внедрить методы ведения сельского хозяйства, которые позволяют повысить жизнестойкость и продуктивность и увеличить объемы производства, способствуют сохранению экосистем, укрепляют способность адаптироваться к изменению климата, экстремальным погодным явлениям, засухам, наводнениям и другим бедствиям и постепенно улучшают качество земель и почв [22]. Стратегической целью развития сельского хозяйства Беларуси является формирование конкурентоспособного на мировом рынке и экологически безопасного производства продуктов питания и сырья, необходимых для поддержания достигнутого уровня продовольственной безопасности, а также для обеспечения полноценного питания и здорового образа жизни населения при сохранении и воспроизводстве плодородия почв [13]. Современная социально-экономическая ситуация и сложившийся традиционный уклад жизни поддерживают высокий интерес населения страны к пополнению пищевого рациона за счет сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в личных подсобных хозяйствах. Валовой сбор картофеля, выращенного в таких хозяйствах в 2019 году в Могилевской области, составил 656,3 тыс. т, овощей – 156,0 тыс. т [18]. Качество сельскохозяйственной продукции, получаемой в личных подсобных хозяйствах, напрямую зависит от качества почвы, поскольку она является наиболее чувствительным индикатором эколого-геохимической обстановки территории и локалитетом для депонирования и пересечения путей миграции химических элементов, в частности токсикантов [12]. Однако монито-

ринг загрязнения почвы в личных подсобных хозяйствах граждан не проводится, поскольку традиционно контроль со стороны государства осуществляется исключительно над землями сельскохозяйственного назначения, находящимися в пользовании сельскохозяйственных организаций. В то же время неконтролируемое применение пестицидов, органических и минеральных удобрений, средств химической мелиорации в частном секторе, довольно часто научно необоснованное, приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами и остатками агрохимикатов и депонированию в ней поллютантов, что неминуемо влечет за собой и загрязнение выращиваемой на этих почвах сельскохозяйственной продукции, прежде всего картофеля и овощей.

Вопросам оценки уровней и характера пространственного распределения тяжелых металлов в почвах посвящен довольно широкий ряд исследований. В частности, анализу пространственного распределения химических загрязнителей в почвах в зонах воздействия эмиссии поллютантов промышленными предприятиями посвящены работы [4, 5]; оценке уровня контаминации почв сельскохозяйственных угодий, непосредственно прилегающих к регионам с высокой степенью концентрации промышленного производства, – работы [3, 6]. Ряд научных работ посвящен загрязнению тяжелыми металлами почв г. Могилев [7], г. Бобруйск [21], г. Жодино [8], а вопросы содержания химических элементов, в том числе элементов-загрязнителей, в почвах аграрных ландшафтов и лесных экосистем освещены в работах [16, 20].

Однако подавляющее большинство выполненных в Беларуси исследований касается оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами урбоземов в областных центрах и городах с высокой степенью концентрации промышленного производства, тогда как исследований по оценке экологического состояния почвенного покрова агроселитебных ландшафтов малых городов, в частности в Могилевской области, проведено недостаточно. Учитывая вышесказанное, выполнение исследований, направленных на оценку уровней и риска загрязнения тяжелыми металлами (медь, цинк, свинец, кадмий) почвенного покрова в пределах индивидуальной жилой застройки г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь) представляет собой актуальную научную задачу, решению которой и посвящена данная работа.

Основная часть

Исследования выполнялись в 2017–2020 гг. на территории микрорайонов «Заречье», «Центр», «Слобода» и «Академия», а также садовых товариществ «Труд», «Иваново» и «Садовод», находящихся в пределах территории г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь) (рис. 1).

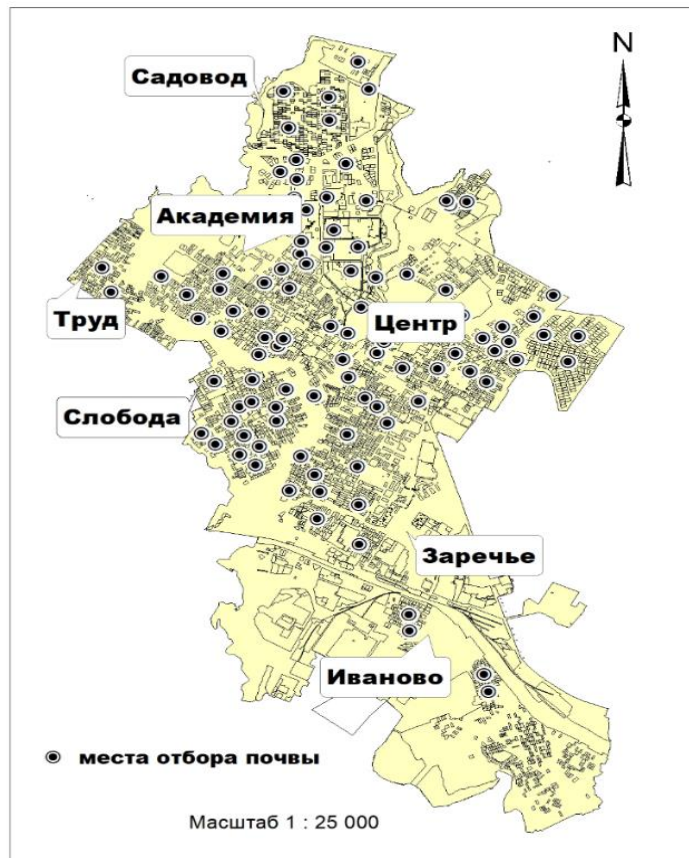


Рис. 1. Схема отбора репрезентативных образцов почвы на территории г. Горки

Отбор образцов почвы проводился в соответствии с требованиями, указанными в ТКП 17.03–02–2013 «Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами» [14]. Размер пробной площадки составлял 10×10 м, почва отбиралась методом «конверта» из слоя 0–20 см. Один репрезентативный почвенный образец формировался из 20 точечных проб.

Аналитические исследования выполнялись на базе химико-экологической лаборатории УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», аккредитованной в Системе аккредитации Республики Беларусь в соответствии с СТБ ИСО/МЭК 1 7025-2007 (аттестат аккредитации номер ВУ/112 02.2.0.4043 от 05.07.2015 г.). Определение содержания тяжелых металлов выполнялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе SOLAAR S Series AA фирмы Thermo Scientific (США). Экстрагирование кислоторастворимых форм тяжелых металлов из почвы производилось 1н HNO₃.

Для оценки риска загрязнения урбаноземов тяжелыми металлами рассчитывались следующие показатели [25]:

1) фактор контаминации C_f^i (1):

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (1)$$

где C_i – фактическое содержание элемента в почве, мг/кг; C_n^i – фоновое содержание элемента в почве;

2) индекс потенциального экологического риска E_r^i (2):

$$E_r^i = C_f^i * T_r^i \quad (2)$$

где T_r^i – коэффициент токсичности элемента, равный для Cd, Cu, Pb и Zn 2, 5, 30 и 40 соответственно;

3) уровень контаминации mC_d (3):

$$mC_d = \sum_{i=1}^N C_f^i / N, \quad (3)$$

где N – количество проанализированных образцов, шт.;

4) комплексный индекс загрязнения P_i (4):

$$P_i = \sqrt{\frac{(mC_d)^2 + (C_{f \max}^i)^2}{2}}, \quad (4)$$

где $C_{f \max}^i$ – максимальное значение фактора контаминации;

5) индекс потенциального экологического риска RI (5):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i. \quad (5)$$

Геопространственный анализ данных о содержании тяжелых металлов в почве выполнялся с помощью набора графиков для исследовательского анализа пространственных данных (ESDA) модуля «Geostatistical Analyst» программного продукта ArcGIS версии 10.3.

Тяжелые металлы и их соединения занимают приоритетное положение среди многочисленных загрязнителей окружающей среды антропогенного и техногенного происхождения и характеризуются сильной стабильностью, высокой токсичностью, выраженными кумулятивными свойствами и значительным негативным воздействием на состояние биосферы и здоровье человека. В агроселитебных ландшафтах основной средой депонирования поллютантов, в частности тяжелых металлов, является почва, в которой пересекаются пути миграции химических элементов, происходят явления синергизма и антагонизма, аккумуляции и диссипации вещества и энергии. Почвы селитебных комплексов постоянно испытывают все возрастающее антропогенное воздействие в силу того, что они находятся в условиях неблагоприятной среды, характерной для урбанизированных территорий, в пределах которых четко прослеживаются два вида техногенного и антропогенного влияния: загрязнение почвы и преобразование ее профиля.

Инструменты геостатистики, в частности исследовательский анализ (ESDA) позволяют изучить пространственную структуру данных и получить их общие статистические характеристики. В ходе выполнения исследовательского анализа было установлено, что характер распределения данных о содержании в урбаноземках тяжелых металлов не соответствует нормальному, а в выборке присутствует значительное количество выбросов, исключение которых из нее невозможно, поскольку именно выбросы высоких и низких значений важны для идентификации участков с максимальным и ми-

нимальными уровнями загрязнения почвенного покрова в пределах города. По этой причине для оценки меры изменчивости данных о содержании тяжелых металлов в почве были использованы размах варьирования, значение медианы и межквартильный размах, являющийся робастным и не зависящим от наличия в данных выбросов высоких и низких значений, а не среднее арифметическое значение (табл. 1).

Таблица 1. Основные статистические характеристики и pH 0-20 см слоя урбанизированных г. Горки, n = 100

Наименование показателя	Название элемента				pH _{кст}
	медь	цинк	свинец	кадмий	
Размах варьирования (min – max)	3,17–305,35	7,36–1408,3	3,21–1414,7	0,0001–1,0	5,35–7,48
Медиана	7,59	47,7	8,77	0,16	6,50
Межквартильный размах	4,94	83,77	7,75	0,17	0,51
% проб с превышением ПДК	100	80	79	7	–
% проб с превышением фонового содержания	100	100	100	74	–
ПДК [20, 21]	3,0	23,0	6,0	0,5	–
Фоновое содержание [23, 24]	2,26	3,22	3,0	0,1	–

Медианное значение содержания в почве меди, цинка и свинца превышает значения ПДК, тогда как медианное значение содержания кадмия составляет 0,34 ПДК, находится очень близко к значению фонового содержания данного элемента, а число проб с превышением ПДК составляет всего 7 % от общего количества отобранных образцов. Медианное значение pH почвенного раствора соответствует близкому к нейтральному, что может рассматриваться как фактор, снижающий миграционную способность тяжелых металлов и способствующий уменьшению поступления их в продукцию растениеводства.

Традиционно как в Беларуси, так и в странах ближнего зарубежья для оценки геохимического состояния территории и установления уровня техногенного загрязнения почвы тяжелыми металлами используют: 1) предельно допустимую концентрацию (ПДК) того или иного элемента; 2) ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) элементов, для которых не установлена ПДК; 3) кларк элемента по А. П. Виноградову для почв бывшего СССР. Однако оценка экологического состояния почвы посредством простого сравнения фактического содержания в ней тяжелых металлов с величиной ПДК или ее аналогом имеет целый ряд существенных недостатков. Прежде всего, предельно допустимая концентрация позволяет оценить степень опасности поллютантов только по простой сумме адаптивных эффектов, без учета явлений синергизма и антагонизма, всегда присутствующих в таких сложных гетерогенных и полифункциональных системах, как почва. Кроме того, предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в почве при установлении нормативов ПДК определялись с учетом преимущественно гигиенических (антропоцентрических) позиций, без учета воздействия на почвенную биоту, физико-химических свойств почв, а также особенностей поведения тяжелых металлов при полиэлементном загрязнении в конкретных почвенно-климатических условиях [10]. Более приемлемым методом оценки комплексного экологического состояния территории по степени загрязнения ее почвенного покрова тяжелыми металлами является расчет различных интегрированных показателей (индексов), учитывающих как токсичность элементов, так и степень их миграционной способности. В табл. 2 представлены статистические характеристики фактора контаминации урбанизированных C_f^i и индекса потенциального экологического риска загрязнения территории E_r^i , учитывающего как величину фактора контаминации, так и степень токсичности того, либо иного элемента. С учетом медианных значений величины фактора контаминации элементы-загрязнители урбанизированных г. Горки располагаются в следующий убывающий ряд: Zn>Cu>Pb>Cd не смотря на то, что 100%-ное содержание проб с превышением ПДК было установлено для меди, а не для цинка. Согласно градации, приведенной в работе [25], при $C_f^i < 1$ уровень загрязнения почвы считается низким, при $1 < C_f^i < 3$ – умеренным, при $3 < C_f^i < 6$ – высоким, при $C_f^i > 6$ – очень высоким. Таким образом, исходя из медианных значений величины фактора контаминации урбанизированной территории г. Горки имеют умеренную степень загрязнения свинцом и кадмием, высокую степень загрязнения медью и очень высокую – цинком. На наличие существенного загрязнения кислоторастворимым цинком почвенного покрова в пределах урбанизированных территорий Беларуси указывается и в работе [2].

Таблица 2. Статистические характеристики фактора контаминации и индекса потенциального экологического риска урбаноземов г. Горки, n = 100

Название элемента	Статистическая характеристика показателя						
	min	max	mid	S _a	med	Асимметрия	Экссесс
Фактор контаминации C_f^i							
Медь	1,40	135,11	6,69	15,65	3,36	6,38	48,61
Цинк	2,29	437,35	42,05	66,84	14,81	2,95	14,65
Свинец	1,07	471,56	10,18	47,76	2,92	9,20	88,94
Кадмий	0,001	10,03	2,11	2,02	1,62	2,09	8,09
Индекс потенциального экологического риска E_r^i							
Медь	7,01	675,55	33,46	78,27	16,80	6,38	48,61
Цинк	91,46	17494,0	1682,0	2673,7	592,55	2,95	14,65
Свинец	32,05	14147,0	305,42	1432,9	87,66	9,20	88,94
Кадмий	0,002	20,07	4,22	4,04	3,24	2,09	8,09

Исходя из медианных значений величины индекса потенциального экологического риска элементы-загрязнители урбаноземов г. Горки располагаются в следующий убывающий ряд: Zn>Pb>Cu>Cd. Свинец, занимающий вторую позицию в представленном убывающем ряду, является канцерогеном и по классификациям U.S. EPA и IARC относится к веществам с доказанной канцерогенной активностью для человека.

Использование функциональных возможностей геоинформационных систем (ГИС) позволило спрогнозировать и визуализировать пространственное распределение величины фактора контаминации урбаноземов в пределах исследуемой территории (рис. 2).

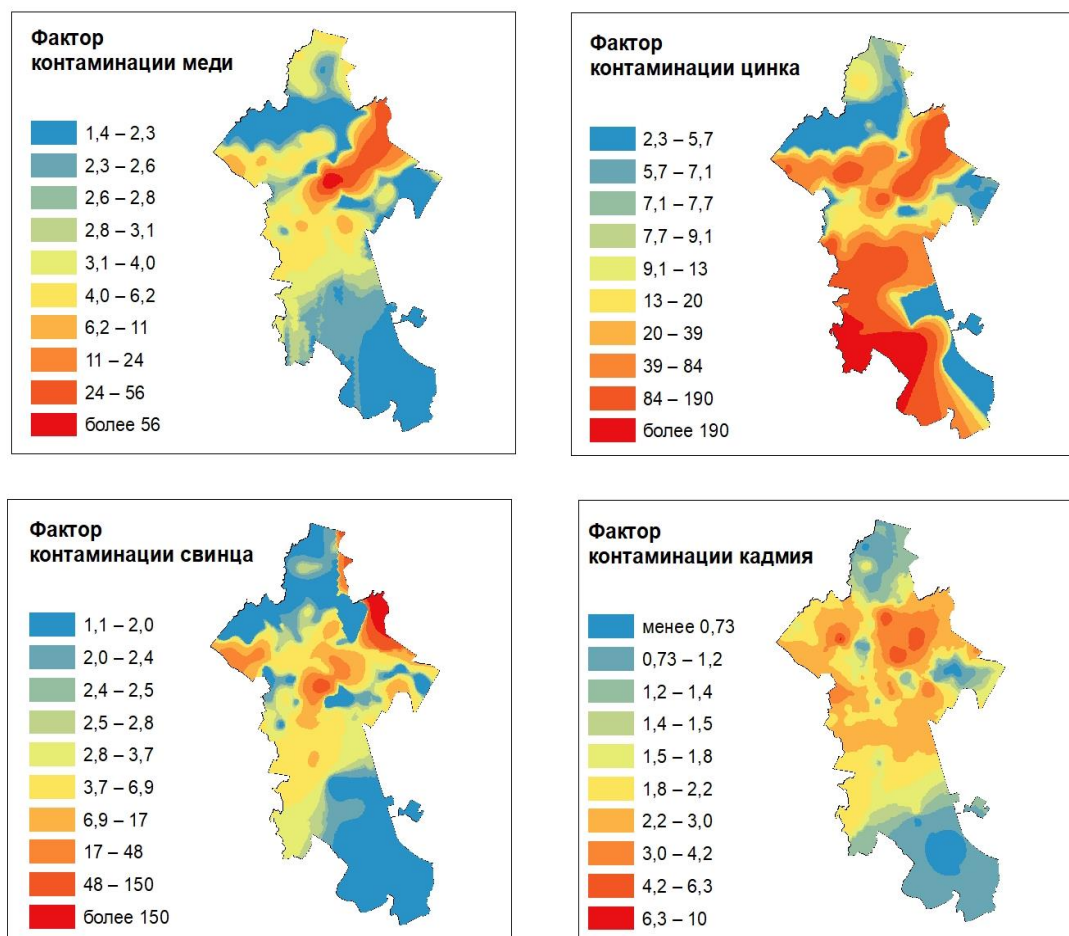


Рис. 2. Пространственное распределение фактора контаминации урбаноземов г. Горки

Прогнозирование было выполнено посредством применения интерполяции по методу радиальных базисных функций, относящихся к умеренно быстрым и точным интерполяторам, позволяющим прогнозировать значения выше и ниже максимального и минимального соответственно (функция ядра – мультиквадрики, количество секторов – 1 без смещения). Установлено, что очаг загрязнения почвы медью сконцентрирован в центральной части города, а также в районе дендропарка и питомника, где в частных приусадебных хозяйствах граждан зафиксированы максимальные уровни содержания данного элемента. Загрязнение урбаноземов медью вызвано как техногенными факторами, так и дополнительным привнесением этого элемента с удобрениями и пестицидами в результате не контролируемого их применения населением при ведении индивидуального огородничества и садоводства [11]. В частности, в органических удобрениях может содержаться от 2 до 60 мг/кг меди и от 15 до 250 мг/кг цинка, азотные удобрения содержат до 27 мг/кг свинца и до 42 мг/кг цинка, фосфорные – до 170 мг/кг кадмия, до 300 мг/кг меди и свыше 1400 мг/кг цинка, а пестициды – от 20 до 85 % кадмия (инсектициды) и до 50 % меди (фунгициды) [23].

Относительно умеренное загрязнение цинком имеют почвы в районе ул. Янки Купалы – ул. Калиновского, в пределах частного сектора в районе улиц Северная, Дружная, Соловьиная и на территории садового товарищества «Садовод». Данный факт можно объяснить тем, что население в пределах указанной территории вместо традиционных минеральных удобрений довольно интенсивно использует органические удобрения и сидеральные культуры. Остальная часть территории подвержена сильному и очень сильному загрязнению цинком, максимум содержания которого приурочен к земельным участкам в частном секторе в районе ст. Погодино и на территории садового товарищества «Иваново». Именно близость к железнодорожной станции, поверхностный сток с территории которой и является источником привнесения цинка в почву, предопределяет высокое содержание его в урбаноземах привокзальной части города, кратное 40–100 ПДК этого элемента. На загрязненность почвенного покрова цинком в полосах отчуждения железнодорожных путей указывается и в работах [11, 19].

Локализация максимального загрязнения почвы свинцом приурочена к тем же участкам города, что и загрязнение медью, кроме того, высокие содержания данного поллютанта отмечены в почвах в пределах территории садового товарищества «Труд». Достаточно высокое содержание свинца в урбаноземах садового товарищества «Труд» и в районе левого берега р. Поросица имеет техногенную природу и обусловлено боковым поступлением загрязненного ливневого стока от автотранспортных ландшафтов вследствие того, что данная территория находится на относительно пониженных элементах рельефа.

Кадмий оказался наименее широко представленным в почвах поллютантом, максимальный уровень загрязнения которым не превышал 10 ПДК. Одним из источников поступления Cd в окружающую среду является сжигание сухих растительных остатков, что очевидно и является причиной повышенного содержания данного загрязнителя в урбаноземах в районе дендропарка и ботанического сада, где сконцентрированы и основные парково-рекреационные зоны города. В южной части города, а также в пределах садового товарищества «Садовод» отмечено минимальное загрязнение почв свинцом и кадмием.

Экологический риск является количественной мерой угрозы возникновения нежелательных изменений в окружающей среде или отдалённых неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие негативного воздействия на биосферу, в частности посредством загрязнения основных ее компонентов – воды, воздуха, почвенного и растительного покрова. Как уже отмечалось ранее, индекс потенциального экологического риска учитывает степень токсичности элементов-загрязнителей, а его величина ранжируется следующим образом [25]: $E_r^i < 40$ – низкий риск; $40 < E_r^i < 80$ – умеренный риск; $80 < E_r^i < 160$ – допустимый риск; $160 < E_r^i < 320$ – высокий риск; $E_r^i > 320$ – очень высокий риск. Исходя из медианных значений индекса потенциального экологического риска, урбаноземы г. Горки характеризуются низким потенциальным экологическим риском загрязнения кадмием и медью, преимущественно умеренным и допустимым риском загрязнения свинцом, величина которого имеет значительную пестроту в пределах исследуемой территории, и высоким и очень высоким риском загрязнения цинком. Низкий потенциальный экологический риск соответствует ситуации, когда загрязнение отдельных компонентов ландшафта и негативное воздействие поллютанта, находящегося в почве, на смежные среды будет минимальным. Пространственная локализация территорий с максимальным и минимальным экологическим риском загрязнения тяжелыми металлами в пределах г. Горки представлена на рис. 3.

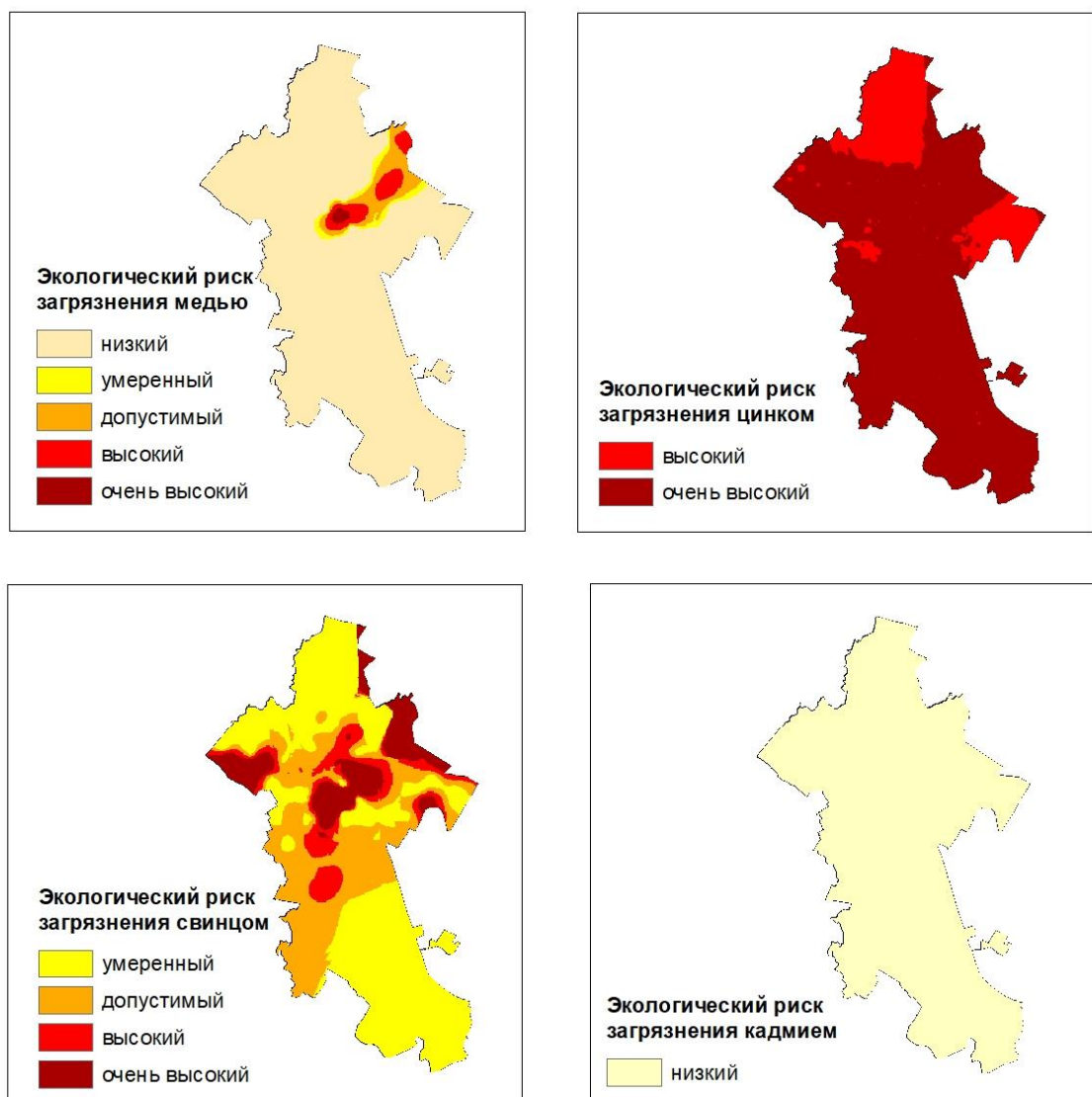


Рис. 3. Пространственное распределение индекса потенциального экологического риска загрязнения тяжелыми металлами урбанизированных территорий г. Горки

Уровень контаминации (mCd) представляет собой обобщенную форму степени комплексного загрязнения почвы, является аналогом суммарного показателя кратности превышения норматива ПДК/ОДК химических веществ Z_c , однако в отличие от него учитывает не количество химических веществ, превышающих нормативы ПДК/ОДК, а общее количество проанализированных образцов. Данный показатель классифицируется на семь уровней [25]: $mCd < 1,5$ – территория не загрязнена; $1,5 < mCd < 2$ – легкая степень загрязнения; $2 < mCd < 4$ – средняя степень загрязнения; $4 < mCd < 8$ – допустимая степень загрязнения; $8 < mCd < 16$ – повышенная степень загрязнения; $16 < mCd < 32$ – высокая степень загрязнения; $mCd > 32$ – очень высокая степень загрязнения (табл. 3).

Таблица 3. Уровень контаминации, комплексный индекс загрязнения и индекс потенциального экологического риска загрязнения урбанизированных территорий г. Горки, $n = 100$

Название элемента	Наименование показателя			
	уровень контаминации, mCd	максимальное значение фактора контаминации, $C_{f \max}^i$	комплексный индекс загрязнения P_i	индекс потенциального экологического риска RI
Медь	6,69	135,11	95,65	700,25
Цинк	42,05	437,35	310,68	
Свинец	10,18	471,56	333,52	
Кадмий	2,11	10,03	7,25	

Исходя из величины уровня контаминации, загрязнение урбанизированных территорий в пределах г. Горки кадмием имеет легкую степень, медью – допустимую степень, свинцом – повышенную степень, цинком – очень высокую степень загрязнения. Суммарный индекс потенциального экологического риска является величиной, характеризующей общий риск загрязнения территории, и классифицируется на сле-

дующие уровни [24, 26, 27]: $RI < 105$ – низкий; $105 < RI < 210$ – допустимый; $210 < RI < 420$ – высокий; $RI > 420$ – очень высокий. Величина данного показателя для исследуемой территории соответствует очень высокому общему потенциальному риску загрязнения и превышает 700 единиц.

Поскольку не было установлено достоверной тесной корреляционной связи между содержанием в почве элементов, которые взаимосвязаны в геохимических аномалиях, можно предположить, что высокие уровни загрязнения урбаноземов вызваны преимущественно техногенными факторами, а не повышенным природным геохимическим фоном.

Заключение

Результаты выполненных исследований дают основания для следующих выводов: 1) урбаноземы в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки характеризуются относительно низким потенциальным экологическим риском загрязнения кадмием и медью, умеренным и допустимым риском загрязнения свинцом и высоким и очень высоким риском загрязнения цинком, имея при этом очень высокий суммарный индекс потенциального экологического риска, превышающий 700 единиц; 2) распределение поллютантов в почве имеет неравномерный мозаичный характер, свидетельствующий о наличии значительного количества локальных источников загрязнения антропогенного и техногенного происхождения; 3) приоритетным загрязнителем почвенного покрова выступает цинк, величина фактора контаминации которого варьирует от 2,29 до 437,35 и соответствует очень высокому уровню загрязнения; 4) урбаноземы на территории г. Горки имеют умеренную степень загрязнения свинцом и кадмием и высокую степень загрязнения медью, а элементы-загрязнители с учетом степени их токсичности располагаются в следующий убывающий ряд: $Zn > Pb > Cu > Cd$.

Дальнейшие исследования следует сосредоточить в направлении прогнозирования пространственного распределения тяжелых металлов в пределах агроселитебных ландшафтов и определения канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья населения, а также установления величины суммарный индекс потенциального экологического риска для отдельных микрорайонов города.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
2. Васильева, Л. И. Техногенная составляющая тяжелых металлов в почвах Беларуси / Л. И. Васильева, Н. И. Тановицкая // Литосфера. – 2001. – №2(15). – С. 137–143.
3. Воздействие производственной деятельности РУП «БелАЗ» на загрязнение почвенного покрова территории завода и прилегающих сельскохозяйственных угодий / А. С. Калинович [и др.] // Экологический вестник. – 2009. – № 1. – С. 36–46.
4. Головатый, С. Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 3. Тяжелые металлы. / С. Е. Головатый, З. С. Ковалевич, Н. К. Лукашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 1. – С. 268–281.
5. Головатый, С. Е. Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий / С. Е. Головатый, С. В. Савченко, Е. А. Самусик // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – № 3. – С. 94–103.
6. Ересько, М. А. Изменение почвенного покрова в зонах размещения промышленных объектов Беларуси / М. А. Ересько // Экологический вестник. – 2012. – №3 (21). – С. 32–39.
7. Загрязнение почвенного покрова г. Могилева тяжелыми металлами / В. М. Феденя [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 4 (13). – С. 243–250.
8. Карпиченко, А. А. Особенности накопления титана, марганца и хрома в поверхностных горизонтах почв г. Жодино (Беларусь) / А. А. Карпиченко, Н. А. Чертко // Доклады Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана)» (Москва, 18–20 октября 2016 г.). – М.: Географический факультет МГУ – С. 247–250.
9. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2006. – 63 с.
10. Мислива, Т. М. Проблеми нормування важких металів в ґрунті / Т. М. Мислива // Вісник ХНАУ. – Сер. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів. – 2008. – № 4. – С. 155–161.
11. Мислива, Т. М. Важкі метали в урбаноземах агроселітебних ландшафтів південно-західної частини м. Житомира / Т. М. Мислива, Л. О. Герасимчук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Сер. Агрономія. – 2011. – Вип. 162. – Ч. 1. – С. 155–165.
12. Мысльва, Т. Н. Тяжелые металлы в урбаноземах парково-рекреационных ландшафтов г. Житомир / Т. Н. Мысльва // Агрохимия. – 2011. – №1. – С. 67–74.
13. Мысльва, Т. Н. Тяжелые металлы в агроселитебных ландшафтах г. Горки / Т. Н. Мысльва, О. Н. Левшук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 211–216.
14. Охрана окружающей среды и природопользование Земли. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами ТКП 17.13-02-2013 (02120) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vik.by>. (Дата доступа: 01.06.2020 г.)
15. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.12–1–2004 (GN 2.1.7.12–1–2004) Постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь №28 от 25.02.2004 г.
16. Позняк, С. С. Загрязнение тяжелыми металлами дерново-подзолистой и торфяной почв сельскохозяйственных угодий в районе г. Жодино / С. С. Позняк // Экологический вестник – 2010. – № 1 (11). – С. 100–108.

17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. ГН 2.1.7.2041–06 (GN 1.7.2041–06) Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 1 от 23.01. 2006 г.
18. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск. – 2019. – 212 с.
19. Семенов, Д. О. Рухомі форми кадмію у ґрунтах Лісостепу та Степу України / Д.О. Семенов // Вісник ХНАУ. – 2008. – №2. – С. 126–129.
20. Толкач, Г. В. К вопросу применимости показателей содержания тяжелых металлов в почвах лесных экосистем Брестского района для оценки степени загрязненности / Г. В. Толкач, С. С. Позняк // Экологический вестник, 2016. – №4(38). – С. 26–32.
21. Химическое загрязнение почвенного покрова г. Бобруйска / Голденков А. А., Залыгина И. А., Марчук С. П., Матвеева В. И. // Экологический вестник. – 2010. – № 2. – С. 31–39.
22. Цели устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс]. – Министерство иностранных дел Республики Беларусь: официальный сайт. – Режим доступа: <http://mfa.gov.by/multilateral/sdg>. (Дата доступа: 01.06.2020 г.).
23. Якість ґрунтів та сучані стратегії удобрення / за ред. Д. Мельничука, Дж. Хофман, М. Городнього. – К.: Арістей, 2004. – 488 с.
24. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals / Q. Wu, J. Y. S. Leung, X. Geng [et al] // Science of the Total Environment. – 2015. – Vol. 506–507. – P. 217–225.
25. Pollution assessment of trace elements in agricultural soils around copper mining area / Xianfeng Cheng, Drozdova Jarmila, Danek Tomas [et al] // Sustainability/ – 2018.– Vol. 10. – P. 2–18.
26. Spatial distribution, contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Erhai Lake, a large eutrophic plateau lake in southwest China / Q. Lin, E. Liu, E. Zhang [et al] // Catena. – 2016. – Vol. 145. – P. 193–203.
27. Toxic heavy metal contamination and risk assessment of street dust in small towns of Shanghai suburban area, China / J. Zhang, H. Deng, D.Wang [et al] // Environmental Science and Pollution Research. – 2013. – Vol. 20. – P. 323–332.