

УДК 504.03 (477.41/ 42)

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АГРОСЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛАНДШАФТАХ Г. ГОРКИ

Т. Н. МЫСЛЫВА, О. Н. ЛЕВШУК

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: byrty41@yahoo.com, levshuk-2011@mail.ru

(Поступила в редакцию 20.03.2019)

На основании собственных экспериментальных исследований выполнена комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами (Cu, Zn, Pb, Cd, Mn) урбаноземов, а также картофеля и овощей, выращиваемых в пределах территории с индивидуальной жилой застройкой г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь). Установлено, что приоритетными загрязнителями урбаноземов являются кислоторастворимые формы цинка ( $K_c = 8,84$ ), меди ( $K_c = 2,04$ ), и свинца ( $K_c = 1,05$ ), а характер распределения поллютантов в почве имеет неравномерный мозаичный характер, свидетельствующий о наличии значительного количества локальных источников загрязнения ( $C_{vZn} = 86\%$ ,  $C_{vCu \text{ и } Pb} = 55\%$ ,  $C_{vCd} = 49\%$ ,  $C_{vMn} = 31\%$ ). Было установлено наличие синергического взаимодействия средней интенсивности между медью и цинком ( $r = 0,76$ ); медью и марганцем ( $r = 0,84$ ); цинком и свинцом ( $r = 0,76$ ); цинком и кадмием ( $r = 0,72$ ). Загрязнение овощей и картофеля имеет полиэлементный характер, а доминирующими их загрязнителями выступают Zn ( $K_{op} = 1,13 - 3,37$ ) и Cd ( $K_{op} = 1,13 - 3,20$ ). В разрезе отдельных культур для исследуемой территории установлена высокая вероятность загрязнения свинцом свеклы столовой и кадмием – лука репчатого. По способности к биологическому накоплению тяжелые металлы располагаются в следующие ниспадающие ряды: 1) картофель: Cu > Zn > Cd > Pb > Mn; 2) свекла столовая: Cu > Zn > Cd > Mn > Pb; 3) морковь столовая: Cu > Cd > Zn > Pb > Mn; 4) лук репчатый: Cu > Zn > Cd > Pb > Mn.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, урбаноземы, картофель, овощи, загрязнение, накопление.

Based on our own experimental studies, a comprehensive assessment was made of pollution with heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Mn) of urbanozems, as well as potatoes and vegetables grown within the territory with individual residential buildings of the city of Gorki (Mogilev region, Belarus). It has been established that the priority pollutants of urbanozem are acid-soluble forms of zinc ( $K_c = 8.84$ ), copper ( $K_c = 2.04$ ), and lead ( $K_c = 1.05$ ), and the distribution of pollutants in the soil has an uneven mosaic character, indicating the presence of a significant number of local sources of pollution ( $C_{vZn} = 86\%$ ,  $C_{vCu \text{ and } Pb} = 55\%$ ,  $C_{vCd} = 49\%$ ,  $C_{vMn} = 31\%$ ). The presence of a synergistic interaction of medium intensity between copper and zinc ( $r = 0.76$ ) was established; copper and manganese ( $r = 0.84$ ); zinc and lead ( $r = 0.76$ ); zinc and cadmium ( $r = 0.72$ ). Pollution of vegetables and potatoes has a polyelement character, and their dominant pollutants are Zn ( $K_{op} = 1.13-3.37$ ) and Cd ( $K_{op} = 1.13-3.20$ ). In the context of individual crops for the study area, there is a high probability of lead contamination of beetroot and cadmium contamination of onion. In terms of bioaccumulation, heavy metals are arranged in the following falling rows: 1) potatoes: Cu > Zn > Cd > Pb > Mn; 2) table beet: Cu > Zn > Cd > Mn > Pb; 3) carrots: Cu > Cd > Zn > Pb > Mn; 4) bulb onion: Cu > Zn > Cd > Pb > Mn.

**Key words:** heavy metals, urban soil, potatoes, vegetables, pollution, accumulation.

### Введение

Деградация земель определена как одна из основных угроз национальной безопасности Республики Беларусь в экологической сфере, поэтому исключительно важным становится контроль за сохранением земель и возобновлением почвенного плодородия. Техногенное загрязнение вследствие воздействия промышленных эмиссий поллютантов, прежде всего тяжелых металлов, является одной из основных причин ухудшения качества почв и выращиваемой на них сельскохозяйственной продукции [1]. Следует отметить, что вследствие усиления антропогенного влияния на окружающую среду ухудшение экологической ситуации наблюдается не только на территории крупных мегаполисов и промышленно развитых регионов, но и далеко за их пределами – в аграрных регионах [2, 3]. Стратегической целью развития сельского хозяйства Беларуси является формирование конкурентоспособного на мировом рынке и экологически безопасного производства сельскохозяйственных продуктов, необходимых для поддержания достигнутого уровня продовольственной безопасности, обеспечения полноценного питания и здорового образа жизни населения при сохранении плодородия почв. Современная экономическая ситуация и традиционный уклад жизни поддерживают высокий интерес населения к пополнению пищевого рациона за счет сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в частных хозяйствах населения, число которых в Беларуси по состоянию на 1.01.2018 г. составляет 2652. Валовой сбор картофеля, выращенного в таких хозяйствах в 2017 году, составил 5256,7 тыс. т, овощей – 1329,5 тыс. т [4]. Однако качество сельскохозяйственной продукции, получаемой в таких хозяйствах, вызывает беспокойство, поскольку ее мониторинг практически отсутствует вследствие того,

что традиционно контроль со стороны государства осуществляется исключительно над землями сельскохозяйственного назначения. Неконтролируемое применение химических средств защиты растений, органических и минеральных удобрений в частном секторе, очень часто научно необоснованное, приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами и остатками пестицидов, что неминуемо влечет за собой и загрязнение выращиваемой на этих почвах сельскохозяйственной продукции.

Изучению и оценке пространственного распределения тяжелых металлов в почвах и растениях посвящен целый ряд исследований. В частности, вопросам пространственного распределения химических загрязнителей в почвах в зонах воздействия промышленных предприятий посвящены работы [5, 6]; загрязнению почв сельскохозяйственных угодий, прилегающих к регионам с высокой степенью концентрации промышленного производства, – работы [7, 8]. Исследования [9] посвящены оценке фоновому содержанию тяжелых металлов в почвах и растениях природных ландшафтов Центральной зоны Беларуси, а работа [10] – содержанию подвижных форм тяжелых металлов и микроэлементов в почвах карбонатного ряда юго-запада Беларуси. Ряд работ посвящен загрязнению тяжелыми металлами почв г. Могилев [11], г. Бобруйск [12], г. Жодино [13]. Вопросы содержания химических элементов в почвах агроландшафтов и лесных экосистем освещены в работах [14–16].

Однако подавляющее большинство исследований касается оценки уровня загрязнения почвы и растений в областных центрах и в городах с высокой степенью концентрации промышленного производства, тогда как исследований по оценке экологического состояния агроселитебных ландшафтов малых городов, в частности в Могилевской области, проведено недостаточно.

Учитывая вышесказанное, выполнение исследований, направленных на оценку уровня загрязнения тяжелыми металлами (медь, цинк, свинец, кадмий, марганец) почвенного покрова, картофеля и овощей в пределах индивидуальной жилой застройки г. Горки (Могилевская область, Республика Беларусь), и установление особенностей миграции и аккумуляции тяжелых металлов в компонентах агроселитебных ландшафтов представляет собой важную научную задачу, решению которой и посвящена данная работа.

### **Основная часть**

Исследования выполнялись в 2017–2018 гг. на территории микрорайонов «Заречье», «Слобода» и «Академия», а также садовых товариществ «Груд» и «Садовод», находящихся в пределах 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» [17]. 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. Отбор проб овощных культур и картофеля проводился в соответствии с требованиями, указанными в ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89. Пробы отбирались на исследуемых участках по диагонали, через равные расстояния, в трёх точках, массой 1 кг каждая.

Аналитические исследования проводились 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 тяжелых металлов выполняли 1н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления.

Урбаноземы в пределах индивидуальной жилой застройки г. Горки характеризуются довольно благоприятными агрохимическими свойствами (табл. 1).

Таблица 1. Статистические характеристики агрохимических и физико-химических показателей урбаноземов

г. Горки, n = 32

Название показателя	Статистическая характеристика показателя				
	min	max	mid	S <sub>d</sub>	C <sub>v</sub>
Подвижный фосфор, мг/кг	267,5	602	440,8	115,7	26,2
Подвижный калий, мг/кг	127,5	558,5	325,7	132,1	40,6
pH <sub>KCl</sub>	5,35	6,99	6,46	0,51	7,9

Примечание: S<sub>d</sub> – среднеквадратическое отклонение; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации; mid – среднее значение.

Под урбаноземами в нашем случае понимаются почвы, формирующиеся на антропогенно нарушенных (с инородными включениями, нарушенным сложением) грунтах, не подвергавшихся целенаправленной рекультивации на всю глубину корнеобитаемого слоя (до 1,5 м) и имеющих гумусированный горизонт (искусственно созданный, либо сформированный почвообразующими процессами *in situ*). Установлено, что содержание подвижного фосфора в них варьирует от высокого до избыточного, подвижного калия – от низкого до избыточного, а pH почвенного раствора колеблется от средне кислого до близкого к нейтральному и нейтрального. Стоит отметить, что варьирование исследуемых агрохимических показателей в урбаноземах было незначительным ( $v = 26-40 \%$ ), а показатели pH варьировали в пределах 7,9 %, что свидетельствует об относительной однородности почвенного покрова в пределах территории, где проводились исследования.

Оценить пестроту и контрастность строения атмотехногенных ореолов рассеивания продуктов техногенеза на обследуемой территории можно по величине коэффициента вариации, который является качественным критерием оценки степени загрязнения урбаноземов. Чем больше коэффициент вариации, тем более неравномерно распределение геохимических параметров в пространстве, и тем фрагментарнее и контрастнее строение атмотехногенных ореолов рассеивания, поскольку элемент – поллютант имеет более высокую степень варьирования в пространстве, чем педогенный элемент [18]. Среди исследуемых тяжелых металлов наиболее сильно в урбаноземах агроселитебных ландшафтов г. Горки варьирует содержание кислоторастворимых форм цинка ( $v = 85,6 \%$ ), что подтверждает техногенную природу происхождения этого поллютанта в пределах исследуемой территории (табл. 2).

Таблица 2. Статистические характеристики содержания тяжелых металлов в урбаноземах г. Горки, n = 32

Название элемента	Статистическая характеристика показателя				
	min	max	mid	S <sub>d</sub>	C <sub>v</sub>
Медь	3,36	19,32	9,36	5,19	55,4
Цинк	13,44	192,28	64,98	55,62	85,6
Марганец	282,27	705,44	454,97	141,51	31,1
Свинец	3,69	17,52	8,38	4,69	55,9
Кадмий	0,001	0,34	0,20	0,097	48,5

Оценить общее экологическое состояние исследуемой территории по загрязнению ее тяжелыми металлами можно, используя коэффициент концентрации (K<sub>c</sub>), который рассчитывается как частное от деления фактического содержания металла в почве на его фоновое содержание (табл. 3).

Таблица 3. Статистические характеристики коэффициента концентрации (K<sub>c</sub>) тяжелых металлов в урбаноземах г. Горки, n = 32

Название элемента	Статистическая характеристика показателя				
	min	max	mid	S <sub>d</sub>	C <sub>v</sub>
Медь	0,73	4,2	2,04	1,13	55,2
Цинк	1,09	31,89	8,84	6,76	76,5
Свинец	0,68	3,24	1,55	0,87	56,1
Кадмий	0,04	1,3	0,77	0,37	48,1

Фактическое содержание меди, цинка и свинца в урбаноземах в среднем превышает их фоновое содержание в 2,1; 6,8 и 1,6 раза соответственно, тогда как содержание кадмия находилось на уровне, кратном 0,37 фона, лишь в отдельных случаях достигая величины, кратной 1,3 фона. Коэффициент концентрации в почве марганца не определялся вследствие отсутствия величины его фонового содержания для территории Беларуси. Отметим, что перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно

допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве в Республике Беларусь регламентируется ГН 2.1.7.12–1–2004 [19]. Однако, данный документ содержит нормативы, применяемые для подвижных форм элементов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8. Кроме того, в нем полностью отсутствуют нормативы содержания в почве подвижного кадмия.

Было установлено наличие синергического взаимодействия сильной интенсивности между цинком и кадмием ( $r = 0,81–0,82$ ); медью и кадмием ( $r = 0,83–0,86$ ); цинком и свинцом ( $r = 0,92–0,95$ ) (табл. 4). На наличие синергизма между данными элементами указывается и в работе [20, с. 59].

Таблица 4. Синергическое взаимодействие между содержанием тяжелых металлов в почве

Вид взаимодействия	Функция, описывающая тип взаимодействия	Сила взаимодействия (величина коэффициента детерминации, $R^2$ )
Cu–Zn	Степенная	0,55–0,63
Cu–Mn	Полином второй степени	0,75–0,78
Cu–Pb	Полином второй степени	0,61–0,68
Cu–Cd	Полином второй степени	0,69–0,74
Zn–Mn	Полином второй степени	0,49–0,53
Zn–Pb	Полином второй степени	0,84–0,90
Zn–Cd	Полином второй степени	0,66–0,68
Mn–Pb	Полином второй степени	0,49–0,50
Mn–Cd	Полином второй степени	0,54–0,55
Pb–Cd	Степенная	0,39–0,42

Отнесение почвы к разряду опасно загрязненной, исходя из содержания в ней кислоторастворимых форм тяжелых металлов, еще не значит, что выращиваемая на ней растениеводческая продукция будет непригодной к потреблению из-за высокого загрязнения. Растения владеют целым комплексом защитных свойств, в результате чего в органы запасаания ассимилянтов попадает ослабленный поток имеющихся в почве в избыточных количествах химических элементов. Не всегда на загрязненной почве получают такую же продукцию, к тому же обнаружено, что различные овощные культуры способны в разной степени накапливать поллютанты, в зависимости от биологических особенностей и места произрастания культуры (рисунок).

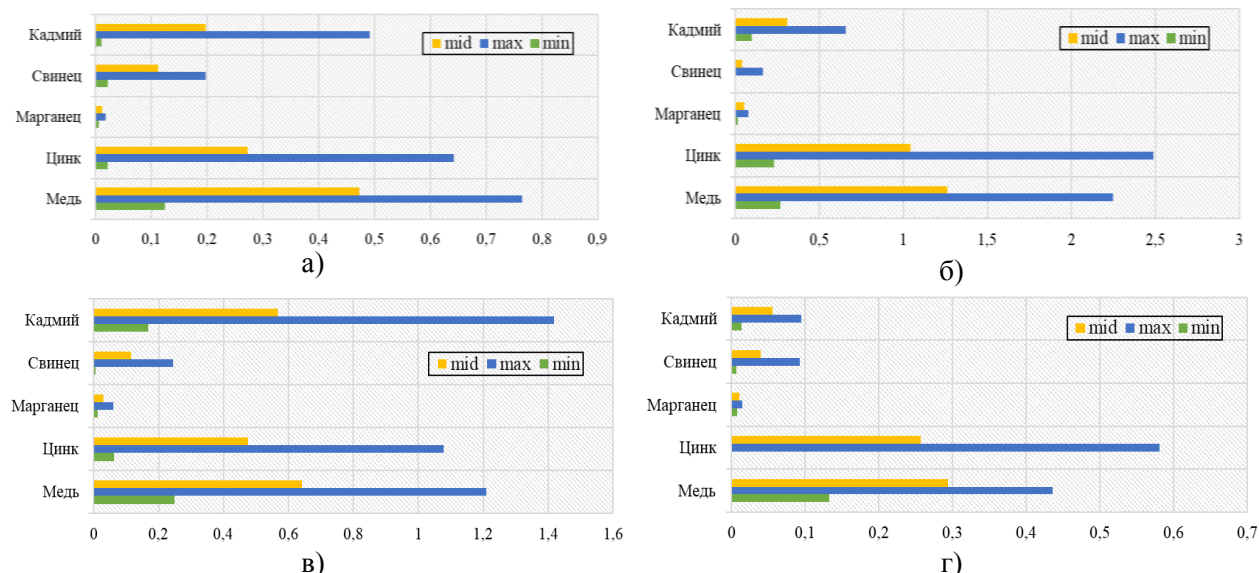


Рис. Коэффициент биологического накопления тяжелых металлов растениями: а – картофелем; б – свеклой столовой; в – морковью столовой; г – луком репчатым

Несмотря на то, что среднее значение коэффициента концентрации меди в почве достигало величины 2,04, загрязнение этим элементом свыше установленных нормативов было зафиксировано только у моркови столовой. И наоборот, при среднем коэффициенте концентрации кадмия в почве на уровне 0,77 имело место загрязнение этим элементом от 90 до 100 % проанализированных образцов моркови и свеклы столовых и картофеля, в среднем достигающее 1,1–3,2 ПДК.

В разрезе отдельных культур по способности к биологическому накоплению тяжелые металлы расположились в следующие ниспадающие ряды: 1) картофель:  $Cu > Zn > Cd > Pb > Mn$ ; 2) свекла столовая:  $Cu > Zn > Cd > Mn > Pb$ ; 3) морковь столовая:  $Cu > Cd > Zn > Pb > Mn$ ; 4) лук репчатый:  $Cu > Zn > Cd > Pb > Mn$ .

Среди исследованной растениеводческой продукции максимальную способность к накоплению поллютантов имеет свекла столовая, которая в случае наличия опасных уровней загрязнения почвы может рассматриваться в качестве потенциального источника поступления тяжелых металлов в организм человека. Не исключено, что опасность от загрязнения может усиливаться и за счет аддитивного негативного воздействия на здоровье человека присутствующих в растениеводческой продукции тяжелых металлов, оценить которое на сегодня мы не имеем возможности.

Характерным для всех исследуемых культур оказалось накопление кадмия, более частое, чем других элементов. Известно, что кадмий не входит в число необходимых для растений элементов, а его физиологическая роль пока не установлена, однако данный элемент эффективно поглощается как корневой системой, так и листьями. Причиной этого, на наш взгляд, является то, что кадмий владеет высокой мобильностью: он подвижен в почве, легко поглощается растениями и проникает во все их органы. Последнее, вероятно, возможно из-за химического родства  $Cd$  с  $Zn$ , вследствие чего растительный организм очевидно не различает эти элементы. На это указывают также и авторы работ [21, 22]. Цинк же, будучи ярким элементом – биофилом, активно участвует во многих процессах метаболизма, особенно в тех, которые протекают в репродуктивных органах растений. Поскольку кадмий двигается вместе с ним, то при таких обстоятельствах загрязнение этим элементом органов запасаания ассимилянтов в большинстве сельскохозяйственных культур становится почти неминуемым, что и имеет место в нашем случае.

Установлена зависимость между коэффициентом биологического накопления свинца и кадмия картофелем и овощами и коэффициентом его опасности. Полученные данные свидетельствуют о том, что при прочих равных условиях наиболее вероятно загрязнение свеклы столовой свинцом и лука репчатого кадмием, тогда как возможность загрязнения свинцом картофеля остается довольно низкой.

Следует отметить и тот факт, что не во всех случаях фиксировалась прямая зависимость между содержанием элемента в почве и его концентрацией в растениях. В частности, у картофеля слабая зависимость установлена только для  $Cd$  ( $r = 0,57$ ), у свеклы столовой – для  $Mn$  ( $r = 0,64$ ), у моркови столовой – слабая зависимость для  $Cu$  и  $Pb$  ( $r = 0,62$ ) и сильная для  $Zn$  ( $r = 0,87$ ), у лука репчатого – слабая зависимость для  $Cu$  и  $Zn$  ( $r = 0,57$  и  $0,68$  соответственно) и сильная для  $Pb$  и  $Mn$  ( $r = 0,90$  и  $0,93$  соответственно).

### **Заключение**

Результаты выполненных исследований дают основания для следующих выводов: 1) урбаноземы в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки хорошо окультурены и характеризуются в целом благоприятными для выращивания картофеля и овощей агрохимическими и физико-химическими показателями: нейтральной или близкой к ней реакцией почвенного раствора, значительными запасами подвижного фосфора и обменного калия; 2) приоритетными загрязнителями урбаноземов являются кислоторастворимые формы цинка ( $K_c = 8,84$ ), меди ( $K_c = 2,04$ ), и свинца ( $K_c = 1,05$ ); 3) распределение поллютантов в урбаноземах имеет неравномерный мозаичный характер, свидетельствующий о наличии значительного количества локальных источников загрязнения ( $C_{vZn} = 86\%$ ,  $C_{vCu \text{ и } Pb} = 55\%$ ,  $C_{vCd} = 49\%$ ,  $C_{vMn} = 31\%$ ); 4) загрязнение овощей и картофеля, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки, имеет полиэлементный характер и обусловлено как условиями места произрастания растений, так и их биологическими особенностями; 5) санитарно-гигиеническое качество картофеля и овощей, выращиваемых в пределах агроселитебных ландшафтов, является неудовлетворительным, а доминирующими их загрязнителями выступают  $Zn$  ( $K_{оп} = 1,13$  –

3,37) и Cd ( $K_{оп} = 1,13 - 3,20$ ); 6) необходимо принятие соответствующих управленческих решений, в первую очередь информирование жителей об опасности и обеспечение мониторинга качества растениеводческой продукции, выращиваемой населением в пределах агроселитебных ландшафтов г. Горки.

Дальнейшие исследования следует сосредоточить в направлении прогнозирования пространственного распределения тяжелых металлов в пределах агроселитебных ландшафтов и определения канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья населения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мислива, Т. М. Важкі метали в лісоаграрних ландшафтах Житомирського Полісся / Т. М. Мислива, В. А. Трембиський, Л. Л. Довбиш // *Агрохімія і ґрунтознавство*. – Спец. вип. – 2006. – С. 260–263.
2. Білявський, Ю. А. Канцерогенний та неканцерогенний ризик від споживання картоплі та овочів, що складають раціон населення сільських селітебних територій / Ю. А. Білявський, Т. М. Мислива // *Вісник ЖНАЕУ*. – 2013. – №2. Т. 1. – С. 56–65.
3. Мислива, Т. М. Мідь у ґрунтах Житомирського Полісся / Т. М. Мислива // *Вісник ЖНАЕУ*. – 2010. – № 2. – С. 30–45.
4. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2018. – 803 с.
5. 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.
6. 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.
7. Воздействие производственной деятельности РУП «БелАЗ» на загрязнение почвенного покрова территории завода и прилегающих сельскохозяйственных угодий / Калинович А. С., Позняк С. С., Романовский Ч. А., Феденя В. М. // *Экологический вестник*. – 2009. – № 1. – С. 36–46.
8. Ерьсько, М. А. Изменение почвенного покрова в зонах размещения промышленных объектов Беларуси / М. А. Ерьсько // *Экологический вестник*. – 2012. – №3 (21). – С. 32–39.
9. Позняк, С. С. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности природных ландшафтов Центральной зоны Беларуси / С. С. Позняк // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. – 2011. – №1. – С. 254–264.
10. Михальчук, Н. В. Подвижные формы тяжелых металлов и микроэлементов в почвах карбонатного ряда юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук // *Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2017. – № 3. – С. 90–97.
11. Загрязнение почвенного покрова г. Могилева тяжелыми металлами / В. М. Феденя, В. И. Матвеева, В. А. Рыбак [и др.] // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2006. – № 4 (13). – С. 243–250.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Толкач, Г. В. Содержание химических элементов в почвах на территории фермерских (крестьянских) хозяйств Брестского района / Г. В. Толкач, С. С. Позняк // *Экологический вестник*, 2015. – №3(33). – С. 79–88.
16. 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.
17. 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: 01.04.2019 г.
18. 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.
19. 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.
20. Свидинюк, Н. Л. Накоплення важких металів в зерні вівса залежно від їх вмісту в ґрунті // *Н. Л. Свидинюк // 36. наук. пр. Ін-ту землеробства УААН*. – 2001. – Вип. 1–2. – С. 56–61.
21. Influence of soil geochemical and physical properties on the sorption and bioaccessibility of Cr (III) / M. A. Stewart, P. M. Jardine, M. O. Barnett [and all] // *Jorn. Environ. Qual.* – 2003. V. 32. – P. 129–137.
22. Liu Xiao-mei Nongye huanjing kexue xuebao / Liu Xiao-mei, Wu Qi-tang, Li Pime-tao // *Jorn. Agro-Environ. Sci.* – 2003. – 22. – № 5. – P. 636–640.

