

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ ИВАНОВСКОЙ И КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

А. Н. Сивухин, старший преподаватель
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
университет», г. Иваново, Россия,
esobiota@mail.ru,

Д. С. Марков, канд. геогр. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
университет», Шуйский филиал, г. Шуя,
Россия, *sgpu@mail.ru*,

Е. А. Борисова, д-р биол. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
университет», г. Иваново, Россия,
floraea@mail.ru

В статье обсуждаются проблемы загрязнения почв Ивановской и Костромской областей тяжелыми металлами. На основании данных многолетних полевых и лабораторных исследований проведен пространственный анализ содержания тяжелых металлов в почвах Верхневолжского региона, определены концентрации их валовых и подвижных форм. В результате корреляционного анализа данных за 5 лет (2013—2017 гг.) установлена связь средней силы между содержанием в почве тяжелых металлов и смертностью жителей от заболеваний сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, выделительной систем, желудочно-кишечного тракта, печени и злокачественных новообразований, а также сильная связь между содержанием в почве подвижных форм марганца и смертностью от заболеваний нервной системы. Рекомендованы способы снижения концентрации тяжелых металлов в почвах с помощью методов биоремедиации. Предлагаемая технология позволяет существенно снизить концентрацию свинца и кадмия в почвах и соответственно в пищевых цепях людей.

The article deals with the issues of soil cover contamination with heavy metals in the Ivanovo and Kostroma Regions. The relationship of pollution with mortality is considered. The correlation analysis of data for 5 years showed a moderate relationship between the content of certain heavy metals and mortality from the diseases of the heart and blood vessels, nervous, respiratory, excretory systems, the gastrointestinal tract, liver and malignant neoplasms, as well as a strong relationship between the content of mobile forms in the soil manganese and mortality from diseases of the nervous system. The methods for reducing the concentration of heavy metals in the soil applying bioremediation methods are proposed. This will allow us to reduce drastically the concentration of lead and cadmium in soil, and, hence, in the food chain, of which man is a participant.

Ключевые слова: загрязнение почв тяжелыми металлами, общественное здоровье, заболевания, биоремедиация, Ивановская, Костромская области.

Keywords: soil contamination by heavy metals, public health, diseases, bioremediation, the Ivanovo Region, the Kostroma Region.

Введение. Несмотря на значительную работу ученых и органов власти по снижению опасного влияния различных загрязнителей на качество жизни населения, проблемы выявления рисков для состояния общественного здоровья продолжают оставаться актуальными. Одними из самых опасных поллютантов являются тяжелые металлы. Изучение распределения в почвах тяжелых металлов проводится в различных регионах [3, 6]. Исследования содержания в почвах тяжелых металлов и влияние этого на здоровье и продолжительность жизни населения Ивановской и Костромской областей проводится несколько лет [7, 8]. Поскольку Ивановская и Костромская области не относятся к промышленно развитым и не характеризуются развитием значимых аномалий содержания тяжелых металлов природного происхождения, то проведение геохимического анализа позволяет определить степень антропогенного в целом и промышленного в частности видов загрязнения. Проведение сравнительного анализа с другими регионами, испытывающими серьезную промышленную нагрузку, позволит выявить и оценить риски для населения, связанные с содержанием в почвах тяжелых металлов. Ивановская и Костромская области сходны по природно-климатическим условиям и экологическим проблемам, связанным с загрязнением воздушного бассейна и речных систем, приводящим к поступлению поллютантов в почвенный покров.

Материалы и методы. В данном исследовании использовались результаты о содержании тяжелых металлов в почвенном покрове Ивановской и Костромской областей, полученные в 2014 г. Данные о естественном движении населения представлены Росстатом за 2013—2017 годы [4, 5].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась в программах Microsoft Excel 2010 и Statistica 10 (Statsoft).

Эксперименты по удалению тяжелых металлов из почвы производились путем фитоэкстракции. Традиционно оно осуществляется путем связывания подвижных форм поллютантов с известью [1], но в таком случае элемент имеет шанс рано или поздно вновь перейти в активную форму. Гораздо безопаснее полностью удалить его из почвенного покрова на используемой площадке.

Были проведена серия опытов с водными культурами горчицы белой и овса посевного по традиционным методикам [6]. Использовались растворы различной концентрации нитратов свинца и кадмия.

Для изучения извлечения растениями свинца и кадмия из почвы были поставлены эксперименты с почвенными культурами овса посевного и редиса. В пластиковые сосуды помещался 1 кг почвы, загрязненной тяжелыми металлами и высаживались 10 растений овса, в другой — 10 растений редиса. Через месяц была произведена оценка содержания тяжелых металлов в почве.

Результаты и обсуждение. Общее содержание тяжелых металлов в почвах Ивановской области оказалось высоким, предельно допустимые концентрации свинца, кадмия и кобальта в отдельных местах, особенно в Приволжском, Вичугском и Фурмановском районах превышают фоновые значения [7].

Анализ данных по смертности населения в Ивановской области за 2013—2017 гг. позволил установить отсутствие значительных колебаний внутри региона по годам (табл. 1, рис. 1—4). Это свидетельствует о привязанности показателей смертности к территории и условиям жизни, в

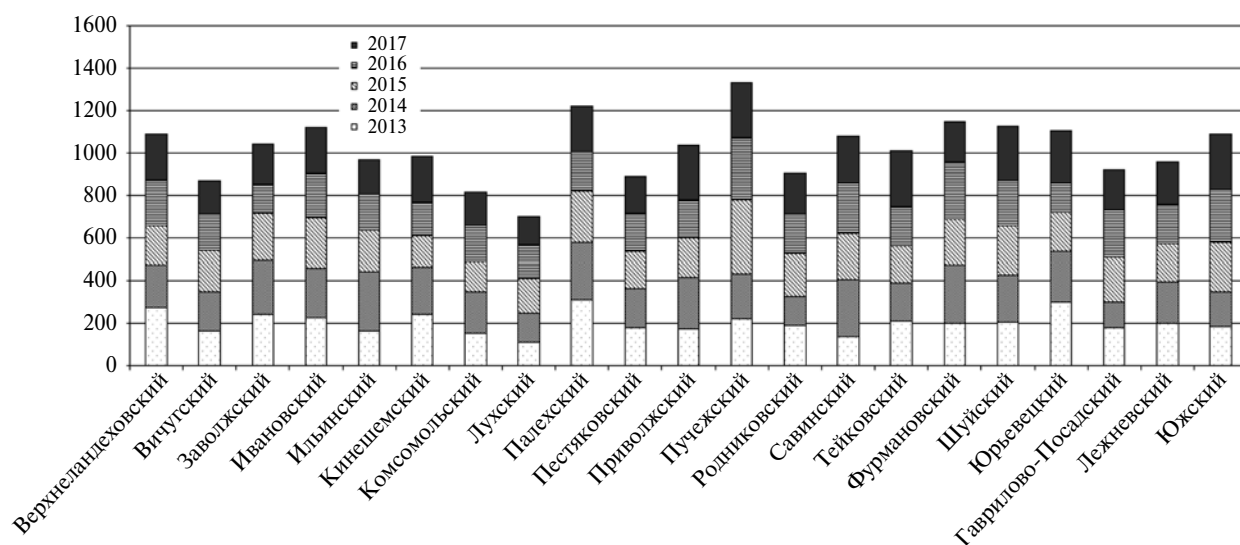


Рис. 1. Относительная смертность населения Ивановской области по муниципальным районам по причине развития злокачественных новообразований (чел./100 000 населения)

Таблица 1
Корреляционный анализ смертности населения Ивановской области в 2013—2017 гг. в сравнении с содержанием тяжелых металлов в почве

	ССС	РАК	НС	ДС	ЖКТ	ВЫД	ПЕЧ
Cu_gross*	0,236922	0,081733	0,2183	0,283125	0,211553	0,086144	0,026656
Zn_gross	0,008339	−0,07788	0,377293	−0,131531	0,362647	−0,12487	−0,27655
Ni_gross	−0,14068	−0,19696	0,26232	0,532835	0,506182	0,019825	−0,2898
Co_gross	−0,25636	−0,0393	−0,02911	0,367565	0,069716	0,242059	0,269858
Pb_gross	−0,09193	−0,27606	0,24498	0,310155	0,398209	0,019438	−0,32822
Fe_gross	0,032025	−0,16795	−0,0393	0,13163	0,190401	−0,13287	−0,33201
Mn_gross	−0,4416	−0,07967	0,005384	0,124313	−0,074869	0,28654	0,334435
Cd_gross	0,218185	−0,2493	−0,03152	0,341387	0,064508	0,114119	0,115147
Cu_mov	−0,09254	−0,4418	−0,25902	0,126422	0,107701	0,275338	−0,07725
Zn_mov	0,059048	−0,14468	−0,21216	−0,172789	0,06205	0,169212	−0,05725
Ni_mov	0,103415	0,112341	0,512514	0,161022	0,279621	−0,0483	−0,21058
Co_mov	0,161494	0,305582	0,329851	0,272821	0,500645	−0,44286	−0,24652
Pb_mov	−0,00253	−0,02023	0,020321	0,06571	0,011656	0,229769	0,063172
Fe_mov	0,118396	0,090092	−0,30231	−0,217847	−0,266045	0,223518	−0,08942
Mn_mov	−0,34654	−0,33942	−0,19099	−0,004943	−0,159645	0,157517	0,019779

*Примечание: gross — валовые формы, mov — подвижные формы, СССР — смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, РАК — от злокачественных новообразований, НС — от заболеваний нервной системы, ДС — дыхательной системы, ЖКТ — желудочно-кишечного тракта, ВЫД — выделительной системы, ПЕЧ — печени.

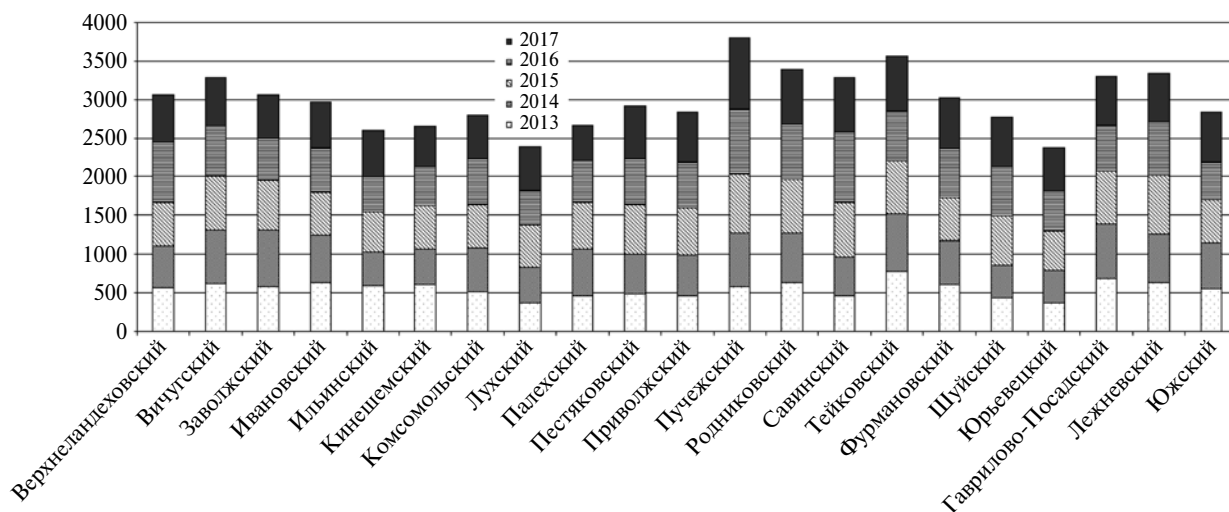


Рис. 2. Относительная смертность населения Ивановской области по муниципальным районам по причине заболеваний сердечно-сосудистой системы (чел./100 000 населения)

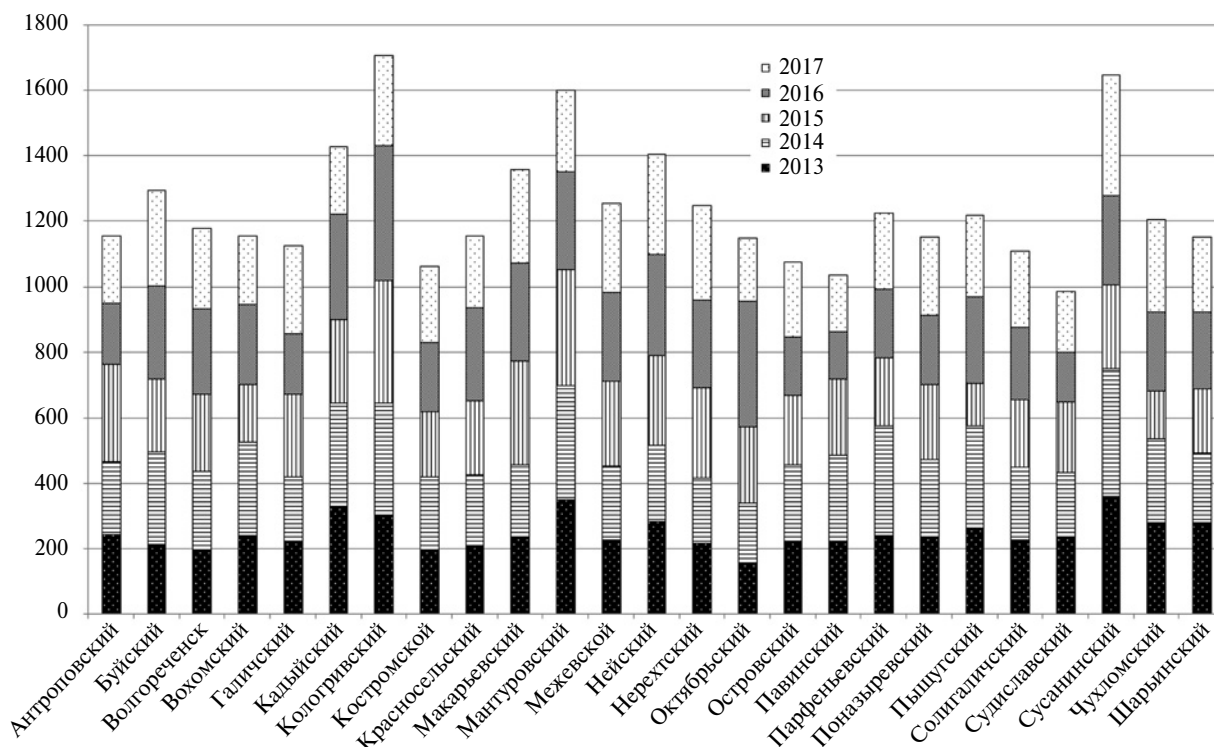


Рис. 3. Относительная смертность населения Костромской области по муниципальным районам по причине развития злокачественных новообразований (чел./100 000 населения)

том числе и к содержанию тяжелых металлов в почвенном покрове.

Проведение корреляционного анализа данных за 5 лет (2013—2017 гг.) показало связь средней силы содержания тяжелых металлов и смертностью от заболеваний сердца и сосудов, нервной, дыхательной, выделительной систем, желудочно-кишечного тракта, печени и злокачественных новообразований (табл. 1). В табл. 1 красным цве-

том выделены позитивные корреляции средней силы.

По результатам исследования, проведенного в Костромской области в 2016 г., были установлены случаи превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) многих тяжелых металлов в почвах [8]. Для валовых форм железа отмечены высокие значения почти по всей территории области, в северной и восточной части они дости-

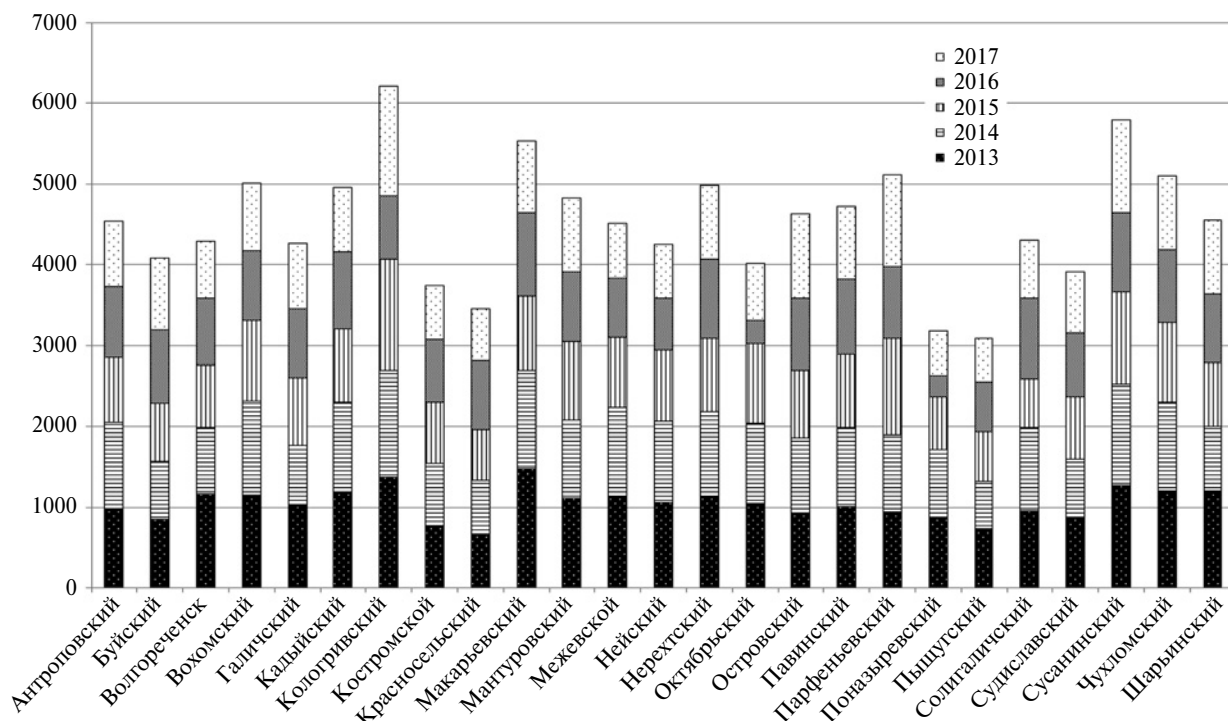


Рис. 4. Относительная смертность населения Костромской области по муниципальным районам по причине заболеваний сердечно-сосудистой системы (чел./100 000 населения)

гают 26 128 мг/кг. Практически на всей территории области наблюдается двукратное превышение ПДК валовых форм кадмия. Содержание подвижных форм меди в Костромской области превышает ПДК в среднем в 2—3 раза, за исключением участка вокруг областного центра и около с. Поназырево. Значительные превышения ПДК валовых форм свинца обнаружены в Кологривском, Пыщугском и Островском муниципальных районах. Содержание подвижных форм свинца превышено во всей Костромской области, кроме Кологривского и Красносельского муниципальных районов.

Проведение корреляционного анализа данных за 5 лет показало связь средней силы между содержанием некоторых тяжелых металлов и смертностью от заболеваний сердца и сосудов, нервной, дыхательной, выделительной систем, желудочно-кишечного тракта, печени и злокачественных новообразований, а также сильную связь между содержанием в почве подвижных форм марганца и смертностью от заболеваний нервной системы (табл. 2).

Это подтверждается медицинскими данными, доказывающими, что головной мозг наиболее чувствителен к избытку марганца, поэтому уже

Таблица 2

Корреляционный анализ смертности населения Костромской области в 2013—2017 гг. в сравнении с содержанием тяжелых металлов в почве

	РАК	НС	ССС	ДС	ЖКТ	ВЫД	ПЕЧ
Cu_mov	−0,0371	−0,08044	0,236006	0,277867	−0,38751	−0,21071	−0,04117
Mn_mov	0,422036	0,792483	0,050022	0,142632	0,322031	0,044706	0,270667
Pb_mov	−0,44247	0,270661	−0,28629	0,045353	−0,34683	−0,24231	−0,09395
Cd_mov	0,607898	−0,03808	0,425599	0,197158	0,333136	0,323382	0,418848
Cu_gross	0,472149	−0,11305	0,422005	0,32041	0,374592	0,505268	0,060494
Mn_gross	0,439868	0,089586	0,254517	0,285055	0,319857	−0,09285	0,180789
Co_gross	0,071626	0,104664	−0,06487	−0,01181	0,370448	0,553353	0,066282
Pb_gross	0,48252	0,049463	0,394983	0,266013	−0,18349	−0,21674	−0,28496
Ni_gross	0,411446	0,121902	0,34789	0,523761	0,188159	0,384282	0,006372
Cd_gross	0,645449	0,053672	0,490318	0,27943	0,352831	0,525716	0,330867
Fe_gross	0,561041	0,02493	0,540894	0,611053	0,271781	0,560103	0,229871

*Примечание. Выделены средние и сильные (НС/mn_mov) позитивные корреляции.

на начальных стадиях хронического отравления отмечаются следующие симптомы: замедленная реакция, раздражительность, перемены настроения, компульсии. Более длительное влияние марганца приводит к развитию паркинсонизма, при этом иногда ставится ошибочный диагноз «болезнь Паркинсона» [2].

Сравнивая данные по смертности населения в Ивановской и Костромской областях, можно отметить, что в Костромской области в 2 раза выше смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, а также значительно выше смертность от злокачественных новообразований. В Ивановской области заболевания ЖКТ, печени, выделительной и дыхательной систем становятся причиной смерти в 2 раза чаще, чем в Костромской области. Также в Ивановской области в десятки раз выше смертность от заболеваний нервной системы.

ПДК валовых форм кадмия значительно превышена в Костромской области, в Ивановской области имеется лишь локальное превышение в районе г. Вичуги. Схожая ситуация и с подвижными формами меди. Оказалось, что в Костромской области их значительно больше, чем в Ивановской.

Помимо очевидного вреда, который могут приносить валовые формы тяжелых металлов, которые с пылью попадают в дыхательные пути человека и животных, серьезную опасность загрязнение подвижными формами тяжелых металлов представляет также по причине их высокой биодоступности для культурных растений, возделываемых на проблемных территориях и выпас скота, либо скашивание травы для прокорма скота и птицы. Потребление этих растений и мяса животных играет важную роль в аккумуляции тяжелых металлов.

В связи с тем что в регионах имеется значительное количество частных и государственных хозяйств, на которых возделываются культурные растения и выращивается скот и птица, были разработаны рекомендации по удалению тяжелых металлов из почвенного покрова. Наиболее продуктивным является такое использование растений, при котором после периода вегетации следует полное удаление надземных и подземных частей растения. Используя такую стратегию, можно добиться значительного выноса тяжелых металлов из плодородного слоя почвы с дальнейшим выращиванием на этом месте культурных растений без опасности их загрязнения [1, 6, 10].

Были проведены эксперименты с почвенными культурами. Концентрация подвижных форм кадмия и свинца изначально составляла 6,5 мг/кг.

В сосуде, где выращивался овес, концентрация подвижных форм свинца через 30 дней оказалась 6,248 мг/кг, кадмия — 6,146 мг/кг. Во втором сосуде (с растениями редиса) концентрация подвижных форм свинца по истечении того же времени составила 6,383 мг/кг, а кадмия — 6,226 мг/кг. Вынос свинца за месяц для овса составил 0,25 мг, для редиса — 0,12 мг. Вынос кадмия для овса — 0,35 мг, для редиса — 0,27 мг.

Таким образом, можно сделать вывод о большей эффективности овса посевного для извлечения подвижных форм тяжелых металлов при комплексном загрязнении. Учитывая, что средняя масса отдельного растения овса к этому моменту составляла около 1 грамма, а редиса — менее 0,5 грамм, то при пересчете на чистую биомассу вынос будет приблизительно одинаковым, однако стоит учитывать целесообразность применения того или иного растения для сельскохозяйственного использования.

В этом плане овес более эффективен в силу высокой скорости набора биомассы при прочих равных условиях. Итак, при сплошном засеве овсом загрязненной почвы, можно за месяц снизить концентрацию свинца в ней на 0,25 мг/кг, а кадмия — на 0,35 мг/кг. Это позволит снизить накопление тяжелых металлов в культурных растениях и в цепочке «растение — скот — человек».

Заключение. Общий уровень загрязнения почвенного покрова в Ивановской и Костромской областях в целом оказался высоким. Это свидетельствует о продолжающемся поступлении тяжелых металлов в почву, что может вызывать системные заболевания населения, однако это не представляет значительной угрозы для состояния общественного здоровья. Основным источником загрязнителей являются атмосферные выбросы автотранспорта, электростанции, сжигающие уголь и торф, долго работающие на территории областей, сточные воды предприятий тяжелой промышленности.

Биоремедиация фитоэкстракционными методами может значительно снизить содержание тяжелых металлов в возделываемой почве. Это важно не только для оптимизации сельского хозяйства, но и для снижения рисков заболеваемости населения. При рациональном осуществлении хозяйственной деятельности и использовании современных технологий экологического мониторинга на территории Ивановской и Костромской областей возможно развитие высокоэффективного сельского хозяйства, способствующего импортозамещению в сфере производства экологически чистой сельхозпродукции и созданию благоприятной и безопасной для населения окружающей среды.

Библиографический список

1. Левкин Н. Д., Богданов С. М., Козьменко Е. В. Фитоэкстракция тяжелых металлов из почвы // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2014. Вып. 4. С. 21—24.
2. Лопина О. Д., Аврунина Г. А., Воронцова Е. И., Прядилова Н. В., Рыжкова М. Н., Хижнякова К. И. Марганец // Большая медицинская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. Б. В. Петровский. 3 изд. Москва: Советская энциклопедия, 1980. Т. 13. Ленин и здравоохранение. Медицина. 552 с.
3. Олшанская Л. Н., Русских М. Л., Арефьева О. А., Булкина Л. А. Фиторемедиация тяжелых металлов из загрязненных стоков в присутствии катионов Na^+ и при воздействии электромагнитного излучения // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 5 (89). С. 12—15.
4. Официальный отчет территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Костромской области о смертности населения муниципальных районов (2013—2017 гг.) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: kostroma.gks.ru
5. Официальный отчет территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Ивановской области о смертности населения муниципальных районов (2013—2017 гг.) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: ivanovo.gks.ru
6. Прохоров Н. В., Матвеев Н. М., Павловская В. А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский ун-т, 1998. 131 с.
7. Румянцев И. В., Дунаев А. М., Сивухин А. Н., Марков Д. С., Гриневич В. И. Эколого-гигиеническая оценка качества почв Ивановской области // Безопасность в техносфере. 2017. № 1. С. 31—37.
8. Сивухин А. Н., Марков Д. С. Оценка содержания тяжелых металлов в почвенном покрове средней полосы Российской Федерации // Научная жизнь, 2016. № 12. С. 87—100.
9. Elliott H. A., Liberati M. R., Huang C. P. Competitive adsorption of heavy metals by soils // *Journal of Environmental Quality*. 1986. P. 214—219.
10. Jennifer L. Wood, Wuxing Liu, Caixian Tang, Ashley E. Franks. Microorganisms in heavy metal bioremediation: strategies for applying microbial-community engineering to remediate soils // *AIMS Bioengineering*, 3 (2). 2016. P. 211—229.

INFLUENCE OF SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS ON THE POPULATION HEALTH OF THE OF IVANOV AND KOSTROMA REGIONS

A. N. Sivukhin, Senior Lecturer, Ivanovo State University, Ivanovo, Russia, ecobiota@mail.ru,

D. S. Markov, Ph. D. (Geography), Associate Professor, Shuya branch of Ivanovo State University, Shuya, Russia, sgpu@mail.ru,

E. A. Borisova, Ph. D. (Biology), Dr. Habil., Professor, Ivanovo State University, Ivanovo, Russia, flora@mail.ru

References

1. Levkin N. D., Bogdanov S. M., Koz'menko E. V. Fitoe'kstrakciya tyazhely'x metallov iz pochvy [Phytoextraction of heavy metals from soil]. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle* [Bulletin of TulSU. Earth science]. 2014. No. 4. P. 21—24. [in Russian]
2. Lopina O. D., Avrunina G. A., Vorontsova E. I., Pryadilova N. V., Ryzhkova M. N., Khizhnyakova K. I. Marganec [Manganese]. *Bolshaya medicinskaya enciklopediya* [Great Medical Encyclopedia]: v 30 t. / gl. red. B. V. Petrovskij. 3 izd. Moscow: Sovetskaya enciklopediya, 1980. Vol. 13. *Lenin i zdoravoohranenie, Medinal*. 552 p. [in Russian]
3. Ol'shanskaya L. N., Russkix M. L., Aref'eva O. A., Bulkina L. A. Fitoremediaciya tyazhely'x metallov iz zagryaznenny'x stokov v prisutstvii kationov Na^+ i pri vozdejstvii e'lektromagnitnogo izlucheniya [Phytoremediation of heavy metals from contaminated effluents in the presence of Na^+ cations and under the influence of electromagnetic radiation]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water purification. Water preparation. Water supply]. 2015. No. 5 (89). P. 12—15. [in Russian]
4. Oficialnyj otchet territorialnogo organa Federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Kostromskoj oblasti o smertnosti naseleniya municipalnyh rajonov (2013—2017 gg.) [Official report of the territorial body of the Federal state statistics service for the Kostroma Region on the mortality of the population of municipal districts] [E-source]. Rezhim dostupa: kostroma.gks.ru. Date of access 10.04.2019. [in Russian]
5. Oficialnyj otchet territorialnogo organa Federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Ivanovskoj oblasti o smertnosti naseleniya municipalnyh rajonov (2013—2017 gg.) [Official report of the territorial body of the Federal state statistics service for the Ivanovo region on the mortality of the population of municipal districts] [E-source]. Rezhim dostupa: ivanovo.gks.ru. Date of access 10.04.2019. [in Russian]
6. Prokhorov N. V., Matveev N. M., Pavlovskaya V. A. Akkumulyaciya tyazhely'x metallov dikorastushimi i kul'turny'mi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e [Accumulation of heavy metals by wild and cultivated plants in the forest-steppe and steppe Volga Region]. Samara: Samarskij u-t., 1998. 131 p. [in Russian]
7. Rumjancev I. V., Dunaev A. M., Sivukhin A. N., Markov D. S., Grinevich V. I. Ekologo-gigienicheskaya ocenka kachestva pochv Ivanovskoj oblasti [Ecological and hygienic assessment of soil quality of the Ivanovo Region]. *Bezopasnost v tehnosfere* [Safety in the technosphere], 2017. No. 1. P. 31—37. [in Russian]
8. Sivukhin A. N., Markov D. S. Ocenka soderzhaniya tyazhelyh metallov v pochvennom pokrove srednej polosy Rossijskoj Federacii [Assessment of heavy metals content in the soil cover of the middle zone of the Russian Federation]. *Nauchnaya zhizn* [Scientific life], 2016. No. 12. P. 87—100. [in Russian]
9. Elliott H. A., Liberati M. R., Huang C. P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. *Journal of Environmental Quality*. 1986. P. 214—219.
10. Jennifer L. Wood, Wuxing Liu, Caixian Tang, Ashley E. Franks. Microorganisms in heavy metal bioremediation: strategies for applying microbial-community engineering to remediate soils. *AIMS Bioengineering*. No. 3 (2). 2016. P. 211—229.