Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Махаева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 02.02.2024 11:01:58
Уникальный программный ключ:
fa349ae3f2[illegible]

УДК 631.95
DOI 10.37670/2073-0853-2020-86-6-15-21

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах сельскохозяйственного назначения

М.В. Степанова[1], канд. биол. наук; **В.А. Остапенко**[2], д-р биол. наук, профессор;
А.П. Каледин[3], д-р биол. наук, профессор
[1] ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА
[2] ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА им. К.И. Скрябина
[3] ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева

С ростом техногенного воздействия увеличилось содержание опасных химических соединений в окружающей среде, в том числе в почвах сельскохозяйственного назначения. До сих пор нормы предельно допустимых концентраций тяжёлых металлов утверждены только для очень узкого спектра наиболее значимых загрязнителей. Исследование почвенного покрова проведено в 2018–2020 гг. в почвах в пределах мегаполиса, промышленного и текстильного областных центров и сельской территории с помощью атомно-абсорбционной масс-спектрометрии. Проанализировано валовое содержание водорастворимых подвижных форм металлов и мышьяка. В целом почвы мегаполиса характеризуются повышенным уровнем содержания меди, свинца, промышленного областного центра – свинца, областного текстильного центра – железа, сельской территории – цинка и железа. Превышение ПДК по концентрации мышьяка установлено на всех исследуемых территориях, свинца – в крупном промышленном центре. Мышьяк, кадмий и медь в почвах имели естественное происхождение, а свинец – в основном техногенное. Выявлены комплексы взаимной кумуляции металлов. Синергизм и антагонизм накопления общего содержания металлов и их подвижных форм существенно отличается. Включение меди и свинца в биологические цепи в большей степени определяется составом материнских пород, а цинка – антропогенным загрязнением. Почвы всех исследуемых территорий пригодны для выращивания технических культур с обязательным контролем содержания токсикантов в растениях и ограничением использования зелёной массы для кормления скота.

Ключевые слова: *микроэлементы, тяжёлые металлы, мышьяк, почва.*

С ростом техногенного воздействия увеличилось содержание опасных химических соединений, в том числе и тяжёлых металлов (ТМ). Несмотря на то что этот вопрос давно изучается и механизмы биогеохимического взаимодействия ТМ в целом понятны, до сих пор нет единого мнения о предельно допустимых их концентрациях, содержании в разных типах почв и при различном хозяйственном использовании [1]. Центральная часть Русской равнины имеет высокую антропогенную нагрузку, здесь сконцентрированы крупные предприятия и проживает большая часть населения страны, а всё земледелие осуществляется преимущественно с помощью применения удобрений [1–4].

Загрязнение почв тяжёлыми металлами и мышьяком стало одной из серьёзных проблем современности. Изучение содержания микроэлементов, в том числе и тяжёлых металлов, в почве с давних времен и до настоящего времени привлекает как зарубежных [14–18], так и отечественных учёных [1–10]. Достаточно часто исследования депонирующих сред в основном проводятся в урбанизированных территориях с высокой техногенной нагрузкой [1–3, 7, 10, 18].

Очевиден тот факт, что фоновый уровень содержания микроэлементов в почвенном покрове отражает техногенную нагрузку на территорию и передаётся в системе почва – растение – человек через продукцию растительного и животного происхождения [2, 4, 5, 10]. Поэтому актуальным становится изучение спектра микроэлементов, в том числе токсичных и тяжёлых металлов, и проведение оценки уровня их содержания в сравнении с фоновыми концентрациями, особенностей их перехода в водную растворимую фазу. По данным докладов о состоянии и охране окружающей среды Центрального федерального округа, среди тяжёлых металлов цинк, железо и медь являются приоритетными загрязняющими веществами, а содержание кадмия, мышьяка и свинца в обязательном порядке контролируется в любой продукции сельскохозяйственной отрасли как одних из самых токсичных элементов, оказывающих влияние на живые объекты даже в незначительных количествах.

Валовое содержание ТМ является одним из основных показателей химического состава, применяемых при изучении химического загрязнения почв. Его используют при определении степени загрязнения почв как для сравнения с фоновыми уровнями или ПДК, так и для определения доли каких-либо форм соединений ТМ. Усиление техногенного воздействия на окружающую среду требует детальных исследований поведения загрязняющих веществ в компонентах биосферы. Большую важность представляет изучение поведения в почвах соединений ТМ техногенного происхождения.

В работах ряда авторов показано, что изучение только валового содержания ТМ и мышьяка в почвах является недостаточным [3, 7]. Подобные исследования могут отражать лишь направление некоторых процессов, например миграции ТМ.

Это возможно тогда, когда изменения валового содержания элементов в исследуемом объекте можно достоверно выявить, что в случае ТМ и мышьяка зачастую проблематично. Делать выводы о возможных механизмах трансформации техногенных форм ТМ в почве и об их дальнейшей судьбе в данном случае затруднительно. Наличие разных форм нахождения ТМ и мышьяка, отличающихся как по подвижности и биологической доступности, так и по механизмам их закрепления в почве, определяет степень их экологической опасности и требует детального изучения.

Цель данного исследования – определение содержания некоторых микроэлементов, в том числе токсичных, в почвах сельскохозяйственного назначения на территории Центрального федерального округа.

Материал и методы исследования. Исследование проведено в 2018–2020 гг. с применением комплексного подхода – сочетания современных экологических, биохимических и статистических методов.

Отбор объединённых проб осуществлялся в соответствии с ГОСТом 17.4.3.01–2017, ГОСТом 17.4.4.02–2017, ГОСТом 58595–2019. Химический анализ выполняли по М-МВИ-80–2008. Измерение массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложений выполнено методами АЭС и ААС. Оценку уровня химического загрязнения депонирующих сред проводили в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве» № 3174–90 и ГН 2.1.7.2511–09 по содержанию валовых, водорастворимых форм МЭ и ТТМ с помощью расчёта коэффициентов концентрации химических вещества соотносительно к региональному фоновому показателю и суммарному показателю загрязнения. Оценку ПДК ТМ в почве производили на основании следующих документов: Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве (ПДК), № 3210–85. М.: МЗ СССР, 1985 г.; Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве, СанПин № 42–128-4433–87, МЗ СССР, 1988 г.; ГН 2.1.7.2041–06 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах (дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229–91); Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020–94. М.: Госсанэпиднадзор России, 1995 г. На исследуемой территории осуществлялся анализ металлов и мышьяка на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-2АТ».

Полученные данные обрабатывались статистически на персональном компьютере с использованием пакета STATISTICA, версия 10.0. Для проверки достоверности отличий между двумя выборками использовались критерии Стьюдента и Фишера, а между несколькими независимыми выборками по одному признаку – однофакторный дисперсионный анализ и непараметрический дисперсионный анализ с применением критерия Краскела – Уоллиса. Для выяснения взаимозависимости между двумя и более выборками применялись регрессионный анализ и коэффициент ранговой корреляции Спирмана. Для всех видов статистического анализа был принят уровень значимости 0,05.

Исследование проводили на территориях с разной техногенной нагрузкой. В Ярославской области изучался центральный микрорайон г. Углича (№ 3), Заволжский район г. Ярославля (№ 5), в г. Москве изучались две точки: ул. Зоологическая (№ 1) и Большая Грузинская (№ 2), ул. Рабфаковская Фрунзенского района г. Иваново (№ 4). Фон отобран в относительно чистой территории (дер. Отрадное Угличского района Ярославской области – на расстоянии 1,5 км от ближайшей дороги). На всех территориях проводился отбор от двух до трёх проб. Каждая анализировалась в 3–4 повторностях по три измерения на каждый элемент. Всего было отобрано 54 пробы, 186 повторностей для исследования количественного содержания таких микроэлементов, как цинк, медь, свинец и кадмий, железо и мышьяк (III), выполнено 2592 количественных атомно-абсорбционных измерений. Для калибровки были использованы стандартные растворы металлов для железа, меди, кадмия, свинца, мышьяка. Ошибка (сигма) метода в целом не превышала 5 %.

Результаты исследования. Территория Москвы относится к влажной зоне умеренно-холодного пояса с дерново-подзолистыми сезонно-промерзающими почвами под хвойно-широколиственными лесами, представленными урбанозёмами. На открытых поверхностях города залегают почвоподобные образования, формирующиеся из насыпных, перемешанных, намывных, техногенных и природных грунтах. В Москве преобладают почвы с нейтральной и слабощелочной реакцией среды и высоким уровнем содержания органического вещества [11]. В Ивановской области преобладают дерново-подзолистые почвы, для которых характерная избыточная кислотность, низкий уровень органического вещества [12]. Почвенный покров Ярославской области представлен в основном дерново-подзолистыми почвами и их разновидностями. Они относятся к кислым или слабокислым (с pH до 5,5), характеризуются невысоким плодородием и повышенным увлажнением [13].

В результате проведённого исследования установлено, что по величине среднего содержания подвижных форм в почве исследуемые элементы на всех рассмотренных территориях образуют следующий убывающий ряд: Fe > Zn > Pb > Cu > As > Cd.

Утверждённые значения ПДК валового содержания элементов в почве есть только в отношении мышьяка и свинца. При исследовании загрязнения почвы МЭ и ТТМ установлено превышение ПДК по валовым концентрациям мышьяка в мегаполисе в двух точках отбора: № 2 на расстоянии 0–10 м от дороги – в 1,3 раза, № 1–10–50 м – в 1,02 раза; в крупном областном промышленном центре (точка отбора № 5) в двух точках – в 1,04 и 1,01 раза; в областном текстильном городе – в одной точке – в 1,2 раза и в двух точках сельской территории– в 1,2 и 1,3 раза (табл. 1). Концентрации свинца превышали ПДК только в придорожной зоне крупного промышленного города в одной точке отбора в 1,1 раза. В остальных пробах исследуемые элементы не превышали ПДК.

В почвах превышения ОДК по содержанию цинка во всех регионах не выявлено, отмечается только превышение ПДК подвижных форм в сельскохозяйственной территории и некоторых точках отбора мегаполиса, что связано с поступлением элемента из цинковых удобрений, осадков сточных вод и воздушной пыли промышленного происхождения [3]. Во всех исследуемых пробах почвы не было выявлено превышения меди, кадмия и железа.

Для определения возможности поступления изучаемых элементов в растительную продукцию было проведено определение водорастворимых форм исследуемых элементов, которые поступают из почвы в растения. Превышения установленных ПДК подвижных форм во всех пробах не выявлено (табл. 2).

Содержание цинка в почвах Центрального федерального округа колеблется: наибольший уровень его накопления отмечен в г. Угличе (где отмечены наибольшие превышения фонового уровня содержания (табл. 3), наименьший – в Ярославле. Также установлено, элемент в сельской территории легко переходит в водное растворимое состояние, что говорит о вероятностно антропогенном его происхождении. На это указывает и достоверное снижение общего содержания тяжёлого металла при удалении от дороги. Почвенный покров г. Иваново также содержит легкорастворимые формы цинка. В крупном мегаполисе выявлены высокие концентрации связанного металла, плохо переводящиеся в водный раствор, что свидетельствует о его естественном происхождении [1].

Валовое содержание меди в почвах Центрального федерального округа изменяется в широком диапазоне: наибольшие концентрации отмечены в мегаполисе, наименьшие – в г. Ярославле. Элемент в депонирующей среде накапливается в виде прочно связанных соединений и комплексов и

1. Валовое содержание исследуемых металлов в пробах почвы, 2018–2019 гг., мг/кг

Точка отбора	Расстояние от дороги, м	Концентрация ($M \pm \delta$)					
		Zn	Cu	Fe	Cd	Pb	As
№ 1	0–10	14,94 ± 0,01*	10,77 ± 0,02	209,63 ± 5,92	0,10 ± 0,01	35,85 ± 0,88	2,88 ± 0,01
	10–50	27,32 ± 0,22*	17,42 ± 0,25	3377,68 ± 27,26	0,08 ± 0,00	11,89 ± 0,07	2,04 ± 0,01
	50–100	25,89 ± 0,07*	15,97 ± 0,01	2197,13 ± 19,45	0,08 ± 0,00	10,10 ± 0,01	1,73 ± 0,01
№ 2	0–10	19,79 ± 0,13*	15,54 ± 0,39	1553,25 ± 2,09	0,04 ± 0,00	11,70 ± 0,11	2,65 ± 0,02
	10–50	35,75 ± 0,02*	17,39 ± 0,11	1640,90 ± 13,25	0,04 ± 0,00	8,18 ± 0,03	1,84 ± 0,03
	50–100	36,83 ± 0,21*	8,99 ± 0,01	396,25 ± 13,28	0,04 ± 0,00	11,70 ± 0,11	1,81 ± 0,01
Среднее	0–10	17,36 ± 3,36	13,15 ± 1,53	881,44 ± 27,08	0,10 ± 0,01	30,91 ± 2,98	2,77 ± 0,10
	10–50	31,54 ± 2,72	17,40 ± 0,36	250,93 ± 45,25	0,06 ± 0,00	10,03 ± 0,80	1,94 ± 0,10
	50–100	31,36 ± 0,96	12,48 ± 3,08	1296,69 ± 48,66	0,06 ± 0,00	10,90 ± 1,99	1,77 ± 0,02
	район	20,11 ± 0,01	10,02 ± 0,03	187,25 ± 1,56	0,09 ± 0,00	20,92 ± 0,14	1,02 ± 0,01
№ 3	0–10	43,86 ± 0,06	10,69 ± 0,23	3997,71 ± 39,23	0,05 ± 0,00	23,51 ± 0,99	1,91 ± 0,03
	10–50	31,95 ± 1,79	9,23 ± 0,07	4347,54 ± 43,36	0,08 ± 0,00	16,89 ± 0,01	0,86 ± 0,01
	50–100	25,68 ± 1,85	8,22 ± 0,13	5456,72 ± 26,74	0,12 ± 0,01	14,87 ± 0,12	2,35 ± 0,01
	район	14,32 ± 0,15	3,73 ± 0,15	3975,97 ± 36,69	0,06 ± 0,01	0	2,69 ± 0,01
№ 4	0–10	19,88 ± 0,15	4,72 ± 0,02	2547,50 ± 18,94	0,02 ± 0,00	1,08 ± 0,03	1,52 ± 0,03
	10–50	19,00 ± 0,01	8,09 ± 0,12	10148,26 ± 160,99	0,12 ± 0,01	9,44 ± 0,08	2,36 ± 0,01
	50–100	16,85 ± 0,27	3,90 ± 0,01	4049,15 ± 140,18	0,07 ± 0,01	1,28 ± 0,07	1,97 ± 0,02
	район	6,47 ± 0,19	3,89 ± 0,11	4172,81 ± 183,91	0,02 ± 0,00	0	1,89 ± 0,01
№ 5	0–10	13,49 ± 0,24	3,34 ± 0,01	208,73 ± 6,82	0,03 ± 0,00	3,53 ± 0,06	2,16 ± 0,01
	10–50	3,39 ± 0,05	1,06 ± 0,01	62,54 ± 0,14	0	0,99 ± 0,01	2,08 ± 0,01
	50–100	0,64 ± 0,01	0,61 ± 0,01	51,67 ± 1,11	0,09 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,86 ± 0,01
	район	6,47 ± 0,19	3,89 ± 0,11	4172,81 ± 183,91	0,02 ± 0,00	0	1,89 ± 0,01
ПДК		23*	33*	–	–	32**	2**
ОДК		55	33	–	0,5	32	2

Примечание: * ПДК подвижные формы; ** ПДК валовое содержание.

плохо переходит в раствор, о чём свидетельствует низкий уровень содержания подвижных форм элемента на всех исследуемых территориях. Выявлено достоверное увеличение содержания меди в почве мегаполиса в сравнении с областными городами в 2,7–3,7 раза (Иваново и Ярославль соответственно) и сельской территорией – в 1,9 раза. В сельской территории концентрация металла также связана с техногенным загрязнением, так как наблюдается достоверная закономерность в снижении её концентрации при удалении от дороги.

Концентрация кадмия в почве незначительно отличается от территории исследования. Наибольший уровень его накопления отмечен в Москве и Угличе, наименьший – в Ярославле. Металл содержится в виде прочных соединений и плохо переходит в растворимую фазу, на что указывает содержание подвижных форм ниже фонового уровня (табл. 3).

Железо аккумулируется в исследуемых почвах в разной степени: наибольшие концентрации отмечены в Иваново, несколько ниже – в Угличе, наименьшие – в Ярославле и Москве, где установлено большое его колебание. Мегаполис характеризуется большой подвижностью ионов железа и, следовательно, высокой степенью его перехода в подвижную форму. Выявлена достоверная тенденция в снижении концентрации общего содержания микроэлемента при удалении от дороги. Всё это говорит о техногенном происхождении токсиканта. Почвенный покров сельской территории обладает высокой сорбирующей способностью по отношению к данному поллютанту, что может быть связано с характеристиками горнообразующей породы местности и свидетельствовать о его природном происхождении. Установлен достоверно более высокий уровень концентрации металла в селе и текстильном областном центре в сравнении с промышленным областным городом в 6,8 и 7,9 раза и мегаполисом – в 3,3 и 3,8 раза соответственно.

Наибольшие концентрации свинца выявлены в почвах крупного мегаполиса, наименьшие – в г. Иваново, где он содержится в виде растворимых соединений и легко переходит в подвижную форму, что указывает на техногенное происхождение элемента. На территории сельского поселения отмечены повышенные содержания валовых концентраций токсиканта в виде прочных водонерастворимых соединений, подтверждающих его естественное происхождение. Установлено достоверное увеличение концентраций свинца в мегаполисе по сравнению с сельской территорией в 1,6 раза, текстильного областного города – в

2. Содержание исследуемых подвижных форм элементов, 2018–2019 гг., мг/кг

Точка отбора	Расстояние от дороги, м	Концентрация ($M \pm \delta$)					
		Zn	Cu	Fe	Cd	Pb	As
№ 1	0–10	0,3019 ± 0,0001	0,1058 ± 0,0001	18,1405 ± 0,0313	0,0047 ± 0,0001	0,877 ± 0,0102	0,0351 ± 0,0002
	10–50	0,1483 ± 0,0002	0,059 ± 0,0001	10,8755 ± 0,2927	0,0069 ± 0,0001	0,383 ± 0,0004	0,0423 ± 0,0011
	50–100	0,2146 ± 0,0001	0,1366 ± 0,0001	9,7766 ± 0,0223	0,0053 ± 0,0001	0,3010 ± 0,0003	0,0376 ± 0,0001
№ 2	0–10	0,1597 ± 0,0006	0,0943 ± 0,0003	9,6653 ± 0,0229	0,0106 ± 0,0001	0,1931 ± 0,0002	0,0338 ± 0,0001
	10–50	0,147 ± 0,0001	0,0969 ± 0,0001	8,9096 ± 0,0001	0,0095 ± 0,0001	0,1777 ± 0,0002	0,0299 ± 0,0001
	50–100	0,0850 ± 0,0001	0,0676 ± 0,0001	6,9294 ± 0,0019	0,0026 ± 0,0001	0,236 ± 0,0013	0,0206 ± 0,0001
Среднее	0–10	0,2308 ± 0,0311	0,1001 ± 0,0007	13,9029 ± 1,7994	0,0077 ± 0,0005	0,5350 ± 0,0712	0,0345 ± 0,0001
	10–50	0,1476 ± 0,0003	0,0780 ± 0,0022	9,8759 ± 0,9489	0,0082 ± 0,0001	0,2803 ± 0,0637	0,0351 ± 0,0002
	50–100	0,1498 ± 0,0253	0,1021 ± 0,0072	8,3530 ± 0,1844	0,0040 ± 0,0001	0,2685 ± 0,0080	0,0291 ± 0,0005
	район	0,1939 ± 0,0001	0,1553 ± 0,0001	3,9213 ± 0,0008	0,0097 ± 0,0001	0,3153 ± 0,0017	0,0491 ± 0,0001
№ 3	0–10	0,0774 ± 0,0004	0,0813 ± 0,0001	5,9463 ± 0,0542	0,0005 ± 0,0001	0,2977 ± 0,0009	0,0208 ± 0,0001
	10–50	3,1384 ± 0,0001	0,7469 ± 0,0022	5,0781 ± 0,0078	0,0005 ± 0,0001	0,2751 ± 0,0001	0,0333 ± 0,0001
	50–100	4,0795 ± 0,0179	0,6999 ± 0,0007	3,9511 ± 0,0179	0,0156 ± 0,0001	0,2572 ± 0,0001	0,0623 ± 0,0001
	район	6,7877 ± 0,0011	0,0318 ± 0,0001	6,6593 ± 0,0011	0,0156 ± 0,0001	0,1923 ± 0,0001	0,0737 ± 0,0001
№ 4	0–10	0,5711 ± 0,0084	0,0087 ± 0,0003	2,4427 ± 0,0084	0,0055 ± 0,0003	0,1361 ± 0,0001	0,0060 ± 0,0001
	10–50	0,1601 ± 0,0003	0,0235 ± 0,0001	4,9531 ± 0,0192	0,0156 ± 0,0001	0,1733 ± 0,0007	0,0171 ± 0,0001
	50–100	0,1108 ± 0,0003	0,0517 ± 0,0001	6,9985 ± 0,0055	0,0072 ± 0,0001	0,2235 ± 0,0002	0,0286 ± 0,0001
	район	0,565 ± 0,0015	0,0919 ± 0,0002	15,8392 ± 0,0651	0,0051 ± 0,0002	1,9527 ± 0,0066	0,0016 ± 0,0001
№ 5	0–10	0,1793 ± 0,0005	0,0811 ± 0,0002	10,7985 ± 0,0023	0,0394 ± 0,0003	7,5885 ± 0,0112	0,1140 ± 0,0003
	10–50	0,1443 ± 0,0014	0,0586 ± 0,0011	13,0286 ± 0,0006	0,1593 ± 0,0003	0,7702 ± 0,0057	0,0300 ± 0,0039
	50–100	0,0794 ± 0,0008	0,0497 ± 0,0009	14,9849 ± 0,0132	0,1195 ± 0,0001	0,3251 ± 0,0073	0,0180 ± 0,0013
	район	0,0785 ± 0,0018	0,0512 ± 0,0009	12,5591 ± 0,0122	0,1281 ± 0,0011	0,9641 ± 0,0054	0,0375 ± 0,0002
Фон		0,0467 ± 0,0003	0,0169 ± 0,0002	3,9125 ± 0,0001	0,0083 ± 0,0003	0,1847 ± 0,0002	0,0015 ± 0,0001
ПДК (подвижная форма)		23,00	3,00	–	–	6,00	–

6,4 раза, крупного областного промышленного центра – в 7,3 раза. Во всех исследуемых ландшафтах установлено достоверное снижение концентрации элемента при удалении от дороги, что подтверждает вывод о его антропогенном происхождении.

Наименьшее колебание концентраций в почвах изучаемых территорий установлено у мышьяка. Во всех пробах он выявлялся на верхней границе ПДК или незначительно превышал его. Элемент хорошо сорбируется почвами исследуемых территорий и относительно плохо передаётся в водную вытяжку, что препятствует его миграционной передаче по биологическим цепям.

Для оценки техногенного воздействия произведён расчёт суммарного показателя загрязнения. В среднем почвы всех территорий на основании расчёта суммарного показателя загрязнения исследуемыми элементами относятся к высоко опасным: Москва – 33,58; Иваново – 61,01; Ярославль – 64,17. Они могут быть использованы под выращивание технических культур с обязательным контролем за содержанием токсикантов в растениях и ограничением использования зелёной массы для кормления скота. Наибольший показатель загрязнения на территории сельского поселения (Zc 118,9) связан с высоким уровнем содержания цинка и повышенным уровнем меди, которые, вероятно, поступают из минеральных удобрений и осадков сточных вод, и мышьяка. Загрязнение почв в пределах г. Иваново связано с повышенным уровнем содержания цинка и мышьяка, мегаполиса – мышьяка, который определяется в большей степени материнской породой. В Москве и Ярославле выявлена тенденция к снижению коэффициента загрязнения при удалении от дороги, что говорит о техногенном происхождении химических элементов в почвенном покрове. В Иваново и Угличе наблюдается повышение коэффициента загрязнения при удалении от автодороги, что связано с особенностями материнских пород территории.

С целью установления основных источников поступления металлов в водные растворы и передачу по цепям питания была изучена связь между валовым содержанием элементов и их подвижными формами. Установлено поступление меди и свинца, что в большей степени определяется составом почвы, на это указывает наличие прямой умеренной корреляционной связи (табл. 4). Содержание подвижных форм цинка связано в большей степени с антропогенным загрязнением, так как выявлена умеренная обратная корреляционная связь между валовой и подвижной концентрацией этого металла. В отношении мышьяка достоверных связей не обнаружено, хотя в литературе отмечено плохое его закрепление в почве [1].

Достоверно установлено, что переходу цинка из почвы в водный раствор способствуют железо

3. Суммарные показатели загрязнения почвы на исследуемых территориях (*Zc*), 2018–2019 гг.

Территория	Расстояние от дороги (м)	Коэффициент концентрации МЭ и ТТМ						Суммарный показатель загрязнения
		Zn	Cu	Fe	Cd	Pb	As	
№ 1	0–10	17,86	6,26	4,64	0,57	4,75	23,4	52,48
	10–50	8,78	3,49	2,78	0,83	2,07	28,2	41,15
	50–100	12,70	8,08	2,50	0,64	1,63	25,07	45,62
№ 2	0–10	9,45	5,58	2,47	1,28	1,05	22,53	37,36
	10–50	8,70	5,73	2,28	1,14	0,96	19,93	33,74
	50–100	5,03	4,00	1,77	0,31	1,28	13,73	21,12
Среднее	0–10	4,94	5,92	3,55	0,93	2,90	23,00	36,24
	10–50	3,16	4,62	2,52	0,99	1,52	23,40	31,21
	50–100	3,21	6,04	2,13	0,48	1,71	19,4	27,97
	район	11,47	9,19	1,00	1,17	1,71	32,73	52,27
№ 3	0–10	1,66	4,81	1,52	0,01	1,61	13,87	18,48
	10–50	67,20	44,20	1,30	0,01	1,49	22,2	131,40
	50–100	87,36	41,41	1,01	1,88	1,39	41,53	169,58
	район	145,35	1,88	1,70	0,88	1,04	49,13	194,98
№ 4	0–10	12,23	0,51	0,62	0,66	0,74	4,00	13,76
	10–50	3,43	1,39	1,27	1,88	0,94	11,4	15,31
	50– 100	2,37	3,06	1,79	0,87	1,21	19,07	23,37
	район	12,10	5,41	4,05	0,61	10,57	1,07	28,84
№ 5	0–10	3,84	4,80	2,76	4,75	41,06	76	128,21
	10–50	3,09	3,47	3,33	4,17	19,19	20	48,25
	50–100	1,70	2,94	3,83	1,76	14,40	12	31,63
	район	1,68	3,03	3,21	5,22	15,43	25	48,57
Фоновый уровень		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

4. Переход микроэлементов из почвы в водный раствор по данным коэффициентов корреляции

Валовое содержание	Подвижная форма					
	цинк	медь	железо	свинец	кадмий	мышьяк
Цинк	–0,59*	0,35*	0,26	0,03	–0,19	0,32*
Медь	–0,41	0,47*	0,48*	0,49*	–0,22	0,54*
Железо	0,33*	0,01	–0,22	0,18	–0,31*	–0,41
Свинец	–0,33*	0,68*	0,01	0,48*	–0,43*	0,48*
Кадмий	0,50*	0,63*	0,02	0,60*	–0,09	0,25
Мышьяк	0,75	0,10	–0,36*	–0,09	0,13	–0,16

Примечание: * данные достоверны ($P < 0,05$).

и кадмий, меди – цинк, свинец и кадмий, железа – медь, свинца – медь и кадмий, мышьяка – цинк, медь и свинец. Связывает ионы цинка – свинец, железа – мышьяк, кадмия – железо и свинец (табл. 4).

Выводы. В среднем почвы всех территорий на основании расчёта суммарного показателя загрязнения исследуемыми металлами относятся к высоко опасным: Москва – 33,58; Иваново – 61,01; Ярославль – 64,17. В целом почвы мегаполиса характеризуются повышенным уровнем содержания меди, свинца, промышленного областного центра – свинца, областного текстильного центра – железа, сельской территории – цинка и железа. Превышение ПДК по концентрации мышьяка установлено на всех исследуемых территориях, свинца – в крупном промышленном центре. Мышьяк, кадмий и медь в почвах имели естественное происхождение, а свинец – в основном техногенное. Включение меди и свинца в биологические цепи в большей степени определяется составом материнских пород, а цинка – антропогенным загрязнением. Почвы всех исследуемых территорий пригодны для выращивания технических культур с обязательным контролем содержания токсикантов в растениях и ограничением использования зелёной массы для кормления скота.

Литература

1. Волгин Д.А. Фоновый уровень и содержание тяжёлых металлов в почвенном покрове Московской области // Вестник Московского государственного областного университета. 2011. № 1. С. 26–31.
2. Баздырев Г.И., Пронина Н.Б., Родригес Д.Р. Тяжёлые металлы в системе почва – растение на склоновых землях // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2001. Вып. 2. С. 81–104.
3. Водяницкий Ю.Н. Тяжёлые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 85 с.
4. Ларионов М.В. Агрохимическая характеристика почв в пределах урбанизированных территорий Поволжья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 307.
5. Бабошкина С.В., Пузанов А.В., Горбачев И.В. Приоритетные элементы – загрязнители (Zn, Pb, Cd, Al) в огородных почвах и овощах приусадебных участков городов Барнаула, Бийска, Горняка // Агроэкология. 2009. № 10 (60). С. 46–50.
6. Быстрых В.В., Боев В.М., Кузьмина С.А. Экологическая оценка содержания металлов в почве Оренбургской области // Экологические и социально-гигиенические аспекты среды обитания человека: матер. республик. науч. конф. Рязань, 2003. С. 60–64.
7. Григорян К.В. Экологическая оценка компонентов биогеоценоза по активности ферментов почв в условиях техногенного загрязнения: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1990. 32 с.
8. Ишкова С.В. Аккумуляция тяжёлых металлов основными типами почв Самарской области // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 21–26.
9. Валовое содержание свинца и его подвижных форм в почвах районов Оренбургской области / О.Я. Соколова, О.А. Науменко, Е.В. Бибарцева [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 189–191.
10. Степанова М.В. Содержание некоторых микроэлементов и токсичных тяжёлых металлов в окружающей среде и биосубстратах детей-дошкольников на сельских и промышленных территориях (на примере Ярославской области): автореф. дис. ... канд. биол. наук / Оренбург. гос. мед. акад. Оренбург, 2012. 23 с.
11. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году / Комплекс городского хозяйства города Москвы; под ред. А.О. Кульбачевского. М.: Правительство Москвы, 2020. 228 с.
12. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Ивановской области в 2017 г. / Департамент природных ресурсов и экологии Ивановской области. Иваново: Департамент природных ресурсов и экологии Ивановской области, 2018. 213 с.
13. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Ярославской области в 2017 г. / Департамент охраны окружающей среды и природопользования Ярославской области; под науч. ред. Г.А. Фоменко. Ярославль: Департамент охраны окружающей среды и природопользования Ярославской области, 2019. 232 с.
14. Gil C., Boluda R., Ramos J. Determination and evaluation of cadmium, lead and nickel in greenhouse soils of Almería (Spain) Chemosphere. 2004. T. 55. № 7. P. 1027–1034.
15. Iñigo V., Andrades M.S., Alonso-Martirena J.I., Marín A., Jiménez-Ballesta R. Spatial variability of cadmium and lead in natural soils of a humid mediterranean environment: la Rioja, Spain. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2013. T. 64. № 4. P. 594–604.
16. Redondo-Gómez S., Mateos-Naranjo E., Figueroa M.E., Cantos M., Troncoso A. Heavy metals and trace element concentrations in intertidal soils of four estuaries of Sw Iberian peninsula. Soil and Sediment Contamination. 2009. T. 18. № 3. P. 320–327.
17. Wyszkowski M., Modrzewska B. Effect of neutralising substances on the total content of trace elements in soil contaminated with zinc. Journal of Elementology. 2017. T. 22. № 4. P. 1439–1451.
18. Yang Z., Lu W., Bao X., Long Y., Yang Q. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun city, China. Journal of Geochemical Exploration. 2011. T. 108. № 1. P. 27–38.

Степанова Марина Вячеславовна, *кандидат биологических наук, доцент*
ФГБОУ ВО «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия»
Россия, 150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58
E-mail: Stepanova-Marina@bk.ru

Остапенко Владимир Алексеевич, *доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой*
ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина»
Россмя, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23
E-mail: v-ostapenko@list.ru
Каледин Анатолий Петрович, *доктор биологических наук, профессор*
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
Россия, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: apk-bird@mail.ru

The content of heavy metals and arsenic in agricultural soils

Stepanova Marina Vyacheslavovna, *Candidate of Biology, Associate Professor*
Yaroslavl State Agricultural Academy
58, Tutaevskoye Shosse, Yaroslavl, 150042, Russia
E-mail: Stepanova-Marina@bk.ru
Ostapenko Vladimir Alekseevich, *Doctor of Biology, Professor*
Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Scryabin
23, Academician Scriabin St., Moscow, 109472, Russia
E-mail: v-ostapenko@list.ru
Kaledin Anatoly Petrovich, *Doctor of Biology, Professor*
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazeva
49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russia
E-mail: apk-bird@mail.ru

With the growth of technogenic impact, the content of hazardous chemical compounds in the environment, including agricultural soils, has increased. Until now, the norms of maximum permissible concentrations of heavy metals have been approved only for a very narrow spectrum of the most significant pollutants. The study of the soil cover was carried out in 2018–2020. in soils within the metropolis, industrial and textile regional centers and rural areas using atomic absorption mass spectrometry. The total content of water-soluble mobile forms of metals and arsenic is analyzed. In general, the soils of the megalopolis are characterized by an increased level of copper, lead, the industrial regional center – lead, the regional textile center – iron, rural areas – zinc and iron. The excess of MPC for arsenic concentration was found in all studied territories, lead – in a large industrial center. Arsenic, cadmium and copper in the soils were of natural origin, while lead was mainly technogenic. Complexes of mutual cumulation of metals are revealed. The synergism and antagonism of the accumulation of the total content of metals and their mobile forms is significantly different. The inclusion of copper and lead in biological chains is largely determined by the composition of the parent rocks, and zinc – by anthropogenic pollution. The soils of all studied territories are suitable for growing industrial crops with mandatory control of the content of toxicants in plants and limitation of the use of green mass for feeding livestock.

Key words: *trace elements, heavy metals, and arsenic, soil.*

УДК 631.8:631.445.4 (470.56)
DOI 10.37670/2073-0853-2020-86-6-21-26

Эффективность применения удобрений на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья*

Н.А. Максютов, д-р с.-х. наук; **В.Ю. Скороходов,** канд. с.-х. наук;
Д.В. Митрофанов, канд. с.-х. наук; **Ю.В. Кафтан,** канд. с.-х. наук;
Н.А. Зенкова, канд. с.-х. наук
ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН

Исследования ведутся на базе многолетнего стационарного опыта по севооборотам и бессменным посевам сельскохозяйственных культур на двух фонах питания с 1990 г. в бывшем ОПХ им. Куйбышева Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Проводятся исследования по методике полевого опыта, общепринятой для центральной зоны Оренбургской области при изучении севооборотов.

* Исследования выполняются в соответствии с планом НИР на 2018–2020 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0003).