

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОРРЕКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

РУССКИХ А. Р., ПЕТРОВ В. Г., ШУМИЛОВА М. А.

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН,  
426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34

**АННОТАЦИЯ.** Описан новый метод мониторинга загрязняющих веществ в почве, с использованием запатентованных специальных устройств, которые помещают в углубления в грунте на период наблюдения и фиксируют попадающие в них поллютанты. Полученные данные показывают наиболее полную картину антропогенного воздействия на окружающую среду, а также позволяют определить уровень экспозиции загрязнителей на единицу площади. Метод опробован на различных мониторинговых площадках г. Воткинск, УР.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метод контроля поллютантов, загрязнение почв, тяжелые металлы, специальные устройства, фиксация загрязняющих веществ.

### ВВЕДЕНИЕ

Удмуртская Республика является частью Уральского экономического района, основными отраслями специализации которого являются черная и цветная металлургия, а также машиностроение. В 90-е гг. промышленные предприятия претерпели структурные изменения, главной задачей которых было оставаться на плаву. Только с начала 2000-х гг. наблюдается позитивная тенденция к развитию. Но значительный износ оборудования, устаревшие технологии производства приводят к загрязнению окружающей среды [1]. Также с каждым днем возрастает антропогенная нагрузка со стороны автотранспорта и теплоэнергетической промышленности. Почва, в отличие от воды и воздуха, являющимися миграционными средами, служит стабильным индикатором техногенного воздействия. На поверхности почвы, которая является своеобразным барьером на пути миграции загрязняющих веществ (ЗВ), аккумулируются аэральные выпадения из стационарных источников и транспортных средств, осадки сточных вод, отвалы гальваношламов и прочие опасные отходы [2]. Но накопительные возможности почвы не безграничны. Для контроля и снижения угрозы загрязнения окружающей среды необходимы мониторинговые исследования. Экологический мониторинг представляет собой комплексную систему наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов [3]. Система наблюдений за состоянием почвы, прежде всего, нацелена не только на охрану земель, но и на достоверный и экономически эффективный прогноз по улучшению уже загрязненных почв. Методы мониторинга имеют ряд недостатков, которые ограничивают область их применения [4]. Во-первых, не учитывается подвижность и биодоступность поллютантов. А также не принимаются во внимание такие факторы, как действие атмосферных осадков, кинетика между подвижной и неподвижной формой загрязняющего вещества (ЗВ), свойства самой почвы, а также возраст загрязнения [5, 6]. Немаловажным моментом является исключение вторичного загрязнения почвы при пробоотборе, поэтому так важны усовершенствованные методы почвенного мониторинга.

Целью работы является исследование уровня антропогенного загрязнения усовершенствованным методом с использованием специальных устройств отбора проб, которые фиксируют загрязнение и снижают воздействие некоторых природных факторов, влияющих на объективность анализа загрязняющих веществ.

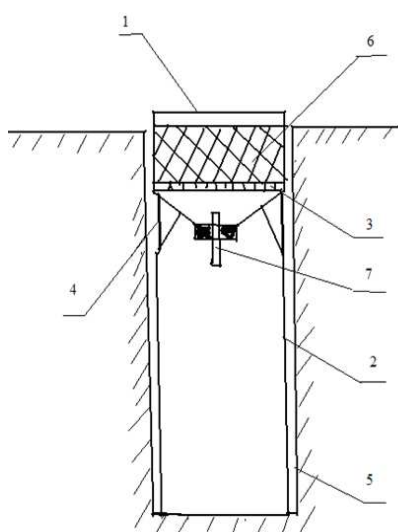
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Предложенный метод с использованием специальных устройств был опробован на пяти мониторинговых площадках г. Воткинска, Удмуртская Республика [7].

Тяжелые металлы негативно влияют на почвенные процессы, плодородие почв и качество сельскохозяйственной продукции. Важной особенностью металлов является устойчивость загрязнения. Сам элемент разрушиться не может, переходя из одного соединения в другое или перемещаясь между жидкой и твердой фазами. Возможны окислительно-восстановительные переходы металлов с переменной валентностью. Миграция соединений тяжелых металлов происходит в значительной степени в виде органоминеральной составляющей. Опасные для растений концентрации ТМ зависят от генетического типа почвы. Основными показателями, влияющими на накопление ТМ в почвах, являются кислотно-основные свойства и содержание гумуса [8].

В качестве поллютантов были выбраны такие тяжелые металлы, как марганец, хром и цинк. Поскольку марганец является неотъемлемым спутником железа, значительная его часть в окружающую среду поступает в виде мелкодисперсных частиц от выбросов предприятий черной металлургии (около 60 % всех выбросов марганца), машиностроения и металлообработки, от открытых залежей шламов. Также марганец попадает в атмосферу с выбросами предприятий ТЭК, с выхлопными газами от автотранспортных средств. Основные источники загрязнения хромом – это сжигание топлива и выбросы гальванопроизводств, а также металлургических производств. Цинк поступает от выбросов производств стали и сплавов, а также при сжигании отходов и древесины [9]. Также цинк попадает в окружающую среду при истирании автомобильных шин [10].

Для проведения мониторинга было выбрано 5 площадок: 2 площадки располагались вблизи федеральной автотрассы и городской транспортный узел; 3 площадки были расположены на территории игровых зон детского сада. Период наблюдений продолжался в теплое время года с мая по сентябрь. Лабораторией природоохранных и ресурсосберегающих технологий запатентовано устройство (рисунок), которое представляет собой колонку из полимерного материала, в верхней части засыпается в нашем случае инертный материал (промытый песок), затем идет фильтр и в нижней части приемник для фильтрата. «Ловушка» устанавливается в пробуренные углубления в грунте в естественных условиях. Через определенные периоды наблюдения осуществляется отбор фильтрата, определяется его объем и содержание марганца, хрома и цинка.



- 1 – верхняя часть;
- 2 – нижняя часть;
- 3 – фильтровальная перегородка;
- 4 – соединительное устройство верхней и нижней части;
- 5 – углубление в грунте;
- 6 – инертный материал;
- 7 – устройство для слива фильтрата

Рис. Схема специального устройства

Для сравнения также исследовались образцы снега и образец фильтрата из устройства, размещенного в г. Ижевске. Анализ на содержание ионов металлов в различных образцах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «Shimadzu-AA7000» по аттестованным методикам [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты проведенных исследований представлены в таблицах 1 и 2. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в точках №1 и №5 близость автотрассы и оживленного перекрестка резко увеличивает антропогенное загрязнение соединениями марганца и цинка. Данные о количестве соединений хрома, попавшего на верхний слой почвы в точке №5, коррелируют с данными этого элемента в аэрозолях воздуха над территорией детского сада. Наибольшее содержание хрома в воздухе наблюдается в точке №1, что превышает в 4,5 – 11,5 раз по сравнению с другими зонами наблюдения.

Географическое расположение детского сада №1 и направление розы ветров позволяют свести к минимуму негативное воздействие со стороны промышленных предприятий на исследуемые городские зоны. Проходящие около точек пробоотбора №1 и №5 автотрассы резко увеличивают техногенную нагрузку на природную среду, причем по данным о количестве выпавшего цинка, можно предположить, что в точке №1 техногенная нагрузка со стороны крупногабаритного автотранспорта выше, чем в точке №5.

Таблица 1

Содержание соединений марганца, хрома и цинка, поступивших из атмосферы г. Воткинска

Площадка	1	2	3	4	5
Местоположение	ул. Азина, въезд в г. Воткинск, площадка рядом с федеральной автотрассой	ул. Спорта, детский сад №1			ул. 1 Мая, 103, дворовая площадка рядом с транспортным узлом
		площадка 1	площадка 2	площадка 3	
Концентрация Mn в фильтрате, $C_{Mn}$ , мг/дм <sup>3</sup>	0,0264	0,0012	0,0083	0,0086	0,0243
Количество Mn, выпавшего на площадку, мг/м <sup>2</sup>	3,678	0,167	1,156	1,198	3,386
Концентрация Cr в фильтрате, $C_{Cr}$ , мг/дм <sup>3</sup>	0,0058	0,0013	0,0012	0,0005	0,0013
Количество Cr, выпавшего на площадку, мг/м <sup>2</sup>	0,808	0,181	0,167	0,070	0,181
Концентрация Zn в фильтрате, $C_{Zn}$ , мг/дм <sup>3</sup>	0,0292	0,0076	0,0061	0,0062	0,0125
Количество Zn, выпавшего на площадку, мг/м <sup>2</sup>	4,068	1,059	0,850	0,864	1,741

По результатам проведенного мониторинга с использованием специальным устройств, можно предположить, что участки для прогулок в детском саду менее подвержены негативному воздействию поллютантов антропогенного происхождения. Из анализа табл. 1 видно, что в детском саду воздействие марганцем для одной площадки меньше других примерно в 7 раз. Различие может быть связано с тем, что эта площадка удалена от источника загрязнения марганцем или экранирована, например забором или деревьями. То, что для других элементов такой разницы нет, свидетельствует о том, что источники загрязнения другими металлами могут отличаться от источника загрязнения марганцем. Может это также объясняться свойствами аэрозолей, содержащими марганец.

Данные анализа на содержание цинка в фильтрате устройств и данные анализа загрязнения снежного покрова сопоставимы, что свидетельствует о том, что техногенное загрязнение в течение всего года остается на одном уровне (табл. 2).

## Содержание цинка в различных образцах

Место отбора пробы	Концентрация Zn, мг/дм <sup>3</sup>
г. Воткинск, снег, фон	0,0015
г. Воткинск, снег, ж/д вокзал	0,0060
г. Воткинск, снег, ул. Азина, въезд в г. Воткинск, площадка рядом с федеральной автотрассой	0,0279
г. Воткинск, снег, ул. 1 Мая, 103, дворовая площадка рядом с транспортным узлом	0,0128
г. Ижевск, фильтрат устройств, территория ИМ УрО РАН, ул. Т. Барамзиной, 34	0,0143

Данные, полученные по результатам анализа загрязнения цинком с точками пробоотбора в г. Ижевске и г. Воткинске в черте города, являются соизмеримыми вследствие близкого расположения транспортных магистралей рядом с пробными площадками.

**ВЫВОДЫ**

Предлагаемый метод позволяет определять с помощью специальных устройств уровень воздействия промышленных ЗВ, попадающих на почву в форме аэрозолей из воздуха, и находящихся в почве в водорастворимом и водонерастворимом состояниях. Простота и доступность метода позволяет проводить мониторинг на сравнительно большом количестве образцов.

Соединения марганца и цинка являются главными загрязнителями в зонах пробоотбора, находящихся в непосредственной близости к загруженным автомагистралям. Концентрация хрома в точке 1 до 11 раз выше, чем в остальных точках пробоотбора.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Липанов А. М., Петров В. Г., Трубачев А. В. Решения по снижению количества и обезвреживанию промышленных отходов в Удмуртской Республике // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2006. № 4. С. 9-17.
2. Водяницкий Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872-881. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13050171>
3. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв: учеб. пособие. М.: Академический Проект, 2007. 237 с.
4. Русских А. Р., Шумилова М. А. Метод исследования поведения загрязняющих веществ в почвах // Наука Удмуртии. 2017. № 4(82). С. 158-163.
5. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 4 с.
6. ГОСТ 28168-89. Отбор проб. М.: Стандартиформ, 2008. 7 с.
7. Петров В. Г., Шумилова М. А. Устройство для мониторинга промышленного загрязнения почвы и грунтовых вод // Патент РФ № 2595653, 2014.
8. Clemente R., Dickinson N., Lepp N. Mobility of metals and metalloids in a multi-element contaminated soil 20 years after cessation of the pollution source activity // Environmental Pollution, 2008, vol. 155, iss. 2, pp. 254-261.
9. Овчаренко М. М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. М.: Пролетарский светоч, 1997. 290 с.
10. Химики-автолюбителям: Справочное издание / под ред. Б.Б. Бобовича, Г.В. Бровака, Б.М. Бунакова и др. Л.: Химия, 1989. 320 с.
11. Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn (кислоторастворимые формы) в почвах и донных отложениях атомно-абсорбционным методом. М-02-902-125-2005. СПб., 2005.

## THE USE OF SPECIAL DEVICES TO CORRECTLY DETERMINE THE LEVEL OF EXPOSURE TO POLLUTANTS

Russkikh A. R., Petrov V. G., Shumilova M. A.

Udmurt Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

**SUMMARY.** Soil is a universal indicator of increasing anthropogenic pollution. Heavy metals occupy the second place in the degree of harm to human health and life. Pollution with heavy metals is associated with their widespread use in industrial production. Part of heavy metals is firmly held and not only does not participate in the migration along the soil profile, the other part migrates in the soil profile and represents the greatest environmental hazard. Due to imperfect purification systems, heavy metals enter the environment, including the soil, contaminating and poisoning it. Manganese, chromium and zinc are selected as the most characteristic pollutants for the region. A new method for monitoring pollutants in the soil has been described, using patented special devices that are placed in cavities in the ground for the period of observation and the pollutants falling into them are recorded. The technique takes into account such factors as bioavailability and mobility of pollutants, soil properties, age of pollution, effect of precipitation, kinetics between the active and inactive form of the pollutant. Sampling does not allow secondary pollution. The sample is representative because the content of the determined substances does not change during sampling, storage and transportation to the laboratory for analysis. The obtained data show the most complete picture of the anthropogenic impact on the environment, and also allow us to determine the level of exposure of pollutants per unit area. The simplicity of the devices allows testing on a large number of samples of contaminated soil under various exposure options, obtaining a large amount of experimental material. The method was tested on various monitoring sites in Votkinsk.

**KEYWORDS:** monitoring method of pollutants, soil pollution, heavy metals, special devices, retention of pollutants.

## REFERENCES

1. Lipanov A. M., Petrov V. G., Trubachev A. V. Resheniya po snizheniyu kolichestva i obezvrezhivaniyu promyshlennykh otkhodov v Udmurtskoy Respublike [Solutions to reduce the number and neutralization of industrial waste in the Udmurt Republic]. *Vestnik IzhGTU* [Bulletin of Kalashnikov ISTU], 2006, no. 4, pp. 9-17.
2. Vodyanskiy Y. N. Contamination of soil with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytical review). *Eurasian Soil Science*, 2013, no. 7, pp. 793-801. <https://doi.org/10.1134/S1064229313050153>
3. Motuzova G. V., Bezuglova O. S. *Ekologicheskiy monitoring pochv. Ucheb. posobiye* [Ecological monitoring of soil: studies. allowance]. Moscow: Akademicheskii Proyekt Publ., 2007. 237 p.
4. Russkikh A. R., Shumilova M. A. Metod issledovaniya povedeniya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh [A method of studying the behavior of pollutants in soils]. *Nauka Udmurtii* [Science of Udmurtia], 2017, no. 4(82), pp. 158-163.
5. *GOST 17.4.3.01-83. Okhrana prirody. Pochvy. Obshchiye trebovaniya k otboru prob* [GOST 17.4.3.01-83. Protection of Nature. Soils. General Sampling Requirements]. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov Publ., 2004. 4 p.
6. *GOST 28168-89. Otkor prob* [GOST 28168-89. Sample selection]. Moscow: Standartinform Publ., 2008, 7 p.
7. Petrov V. G., Shumilova M. A. *Ustroystvo dlya monitoringa promyshlennogo zagryazneniya pochvy i gruntovykh vod* [A device for monitoring industrial pollution of soil and groundwater]. *Patent RU 2595653*, 2014.
8. Clemente R., Dickinson N., Lepp N. Mobility of metals and metalloids in a multi-element contaminated soil 20 years after cessation of the pollution source activity. *Environmental Pollution*, 2008, vol. 155, iss. 2, pp. 254-261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.11.024>
9. Ovcharenko M. M. *Tyazhelye metally v sisteme pochva-rasteniye-udobreniye* [Heavy metals in the system soil-plant-fertilizer]. Moscow: Proletarskiy svetoch Publ., 1997. 290 p.
10. *Khimiki-avtolyubitel'nyy: Spravochnoye izdaniye*. Pod red. B.B. Bobovicha, G.V. Brovaka, B.M. Bunakova i dr. Leningrad: Khimiya Publ., 1989. 320 p.
11. *Metodika kolichestvennogo khimicheskogo analiza. Opredeleniye As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn (kislotorastvorimyye formy) v pochvakh i donnykh otlozheniyakh atomno-absorbtsionnym metodom* [Method of quantitative chemical analysis. Determination of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn (acid-soluble forms) in soils and bottom sediments by the atomic absorption method]. M-02-902-125-2005. St. Petersburg, 2005.

Русских Алина Рэмовна, аспирант, Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [alina\\_obuhova@mail.ru](mailto:alina_obuhova@mail.ru)

Петров Вадим Генрихович, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник,  
Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, тел. (3412) 21-89-55, e-mail: [petrov@udman.ru](mailto:petrov@udman.ru)

Шумилова Марина Анатольевна, кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник,  
Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, e-mail: [mashumilova@mail.ru](mailto:mashumilova@mail.ru)