

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЕДЕНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

*В. Г. Петров\*, М. А. Шумилова*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики УрО РАН,  
г. Ижевск, Россия, \*e-mail: petrov@udman.ru

Поступила в редакцию 31.03.2017 г.

Разработаны методы и устройства для изучения особенностей поведения загрязняющих веществ в окружающей среде. Методы исключают вторичное загрязнение природных объектов и могут быть использованы при изучении техногенного воздействия особо токсичных и радиоактивных веществ. На основании исследований могут быть разработаны рекомендации по организации экологического мониторинга промышленных объектов и методы санации загрязненных территорий.

*Ключевые слова:* загрязняющие вещества, особенности поведения, методы и устройства для исследования.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие техники и технологии приводит к образованию новых видов загрязняющих веществ (ЗВ), воздействие которых на объекты окружающей среды и особенности поведения в ней с учетом региональных природных факторов иногда сложно спрогнозировать. Следует считать устаревшими существующие методы мониторинга, в частности методы пробоотбора образцов загрязненной почвы [1]. Применяемые в настоящее время методы исследования особенностей поведения ЗВ в почве не исключают повторного загрязнения окружающей среды [2], поэтому важным является разработка новых методов и способов исследования свойств ЗВ в окружающей среде.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Нами разработаны простые методы и устройства для исследования особенностей поведения в почвах ЗВ, в том числе новых видов – особо токсичных химических соединений, радиоактивных веществ в лабораторных и полевых условиях [3, 4]. С их помощью можно определить подвижность поллютантов в поверхностном почвенном слое и сорбционные свойства почв в обменных процессах. На основании полученных данных можно разрабатывать рекомендации по организации мониторинга промышленного загрязнения и предлагать мероприятия по санации загрязненных территорий. Исследования проводятся в условиях прямой задачи, исключая вторичное загрязнение окружающей среды, при этом используются высокочувствительные аналитические методы при определении содержания ЗВ, такие, например, как

атомно-абсорбционная спектроскопия. В полевых испытаниях устройства с загрязненными образцами региональных почв устанавливаются в условиях воздействия природных факторов, характерных для территории, на которую оказывают воздействие источники промышленного загрязнения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поведение ЗВ в поверхностном слое почвы, на которое направлено техногенное воздействие, зависит:

#### От свойств ЗВ:

- растворимость;
- окислительно-восстановительные свойства;
- реакционная способность.

#### От свойств почвы:

- сорбционные свойства: катионообменная, анионообменная емкость почвенно-поглощающего комплекса;
- содержание органического вещества, оксидов железа, оксидов алюминия и др. элементов (вид почвы);
- особенности фильтрации атмосферных осадков через почвенный слой;
- биогенная активность в почвах.

#### От природных условий:

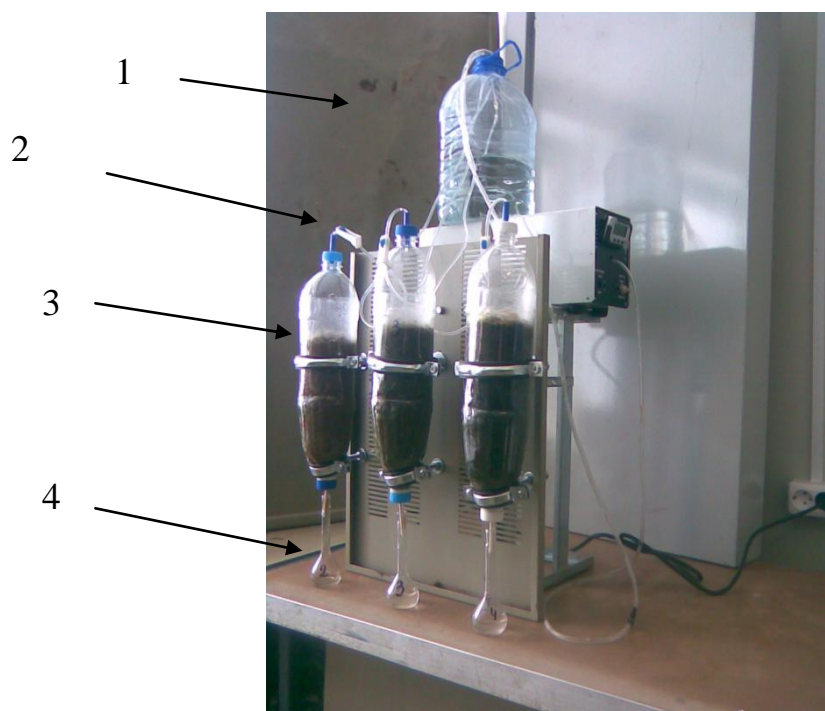
- среднесуточная температура;
- количество выпавших осадков.

Обычно все эти параметры сложно учесть, чтобы спрогнозировать поведение ЗВ в окружающей среде. Необходимо проведение экспериментов с реальными объектами для получения более корректного заключения о свойствах ЗВ в конкретных природных средах.

#### ***Исследование свойств ЗВ в почвах в лабораторных условиях***

Для изучения подвижности ЗВ в почвах нами был создан лабораторный стенд [3]. Стенд представляет собой конструкцию из нескольких колонок и дозирующего устройства, вид которого приведен на рисунке 1. В колонки помещаются образцы почвы и проводится ее загрязнение исследуемым видом ЗВ, далее из дозирующего устройства через загрязненный образец пропускается дистиллированная вода. В нижней части колонки устанавливается фильтрующее устройство, с помощью которого отбираются фракции воды, прошедшей через загрязненный образец. Стенд моделирует воздействие атмосферных осадков в виде дождя на верхнюю загрязненную часть почвы. Фиксируется скорость фильтрации, а также объем пропущенной воды через загрязненный образец. В отобранных фракциях фильтрата определяется содержание ЗВ [5]. В качестве примера использования метода образцы региональной почвы загрязняли арсенитом натрия, моделируя воздействие объекта по уничтожению люизита [6], а также соединениями некоторых тяжелых металлов (ТМ) - при моделировании воздействия загрязнений других промышленных предприятий [7]. Количество вносимого ЗВ было кратным значениям ПДК по конкретному элементу для почв [8]. В колонку,

размещенную на стенде, закладывается образец почвы массой 1,0-1,5 кг, высота почвенного образца при этом составляет примерно 15 см, что соответствует высоте штыка лопаты при отборе пробы для анализа загрязнения в почве по методике [1]. После окончания эксперимента небольшие массы образцов загрязненной почвы можно сравнительно просто обезвредить. Условия проводимых исследований позволяют определять параметры подвижности поллютантов в почве с использованием элементов теории гетерогенных химических процессов, для чего была разработана следующая модель.



**Рис. 1.** Лабораторный стенд для испытаний загрязненных почв и грунтов: 1- емкость с дистиллированной водой, 2 - дозирующее устройство, 3 - колонки с почвенными образцами, 4 - мерные колбы для сбора фильтрата.

Модель: процесс выделения ЗВ из верхнего слоя почвы за счет воздействия атмосферных осадков в виде дождя является гетерогенным (ж-тв) и определяется следующими параметрами:

$$\alpha = f(\kappa_1 \dots \kappa_j, D, \tau), \quad (1)$$

где  $\alpha$  - степень выделения ЗВ из загрязненного почвенного слоя,  $\kappa_1 \dots \kappa_j$  - константы химических превращений вещества, растворения, сорбции, десорбции,  $D$  - коэффициент диффузии растворенного вещества в почвенном слое,  $\tau$  - время протекания процессов.

Можно показать, что для определенного периода метеорологических наблюдений может быть получена следующая формула [5, 9]:

$$\int_0^{\alpha} \frac{d\alpha}{(1-\alpha)^n} = \kappa_n S \sum_{i=0}^m \frac{H_i}{\omega_i}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – количество выделенного из почвы ЗВ в долях от исходного содержания,  $k_n$  – наблюдаемая константа скорости выделения ЗВ из слоя почвы,  $n$  - порядок взаимодействия,  $S$  - площадь почвенного покрова, на которую было оказано техногенное воздействие;  $H_i$  – количество осадков, выпавшее за период метеорологических наблюдений, в мм;  $\omega_i$  – скорость прохождения воды через загрязненную почву, мл/с,  $m$  - количество осадков в виде дождя.

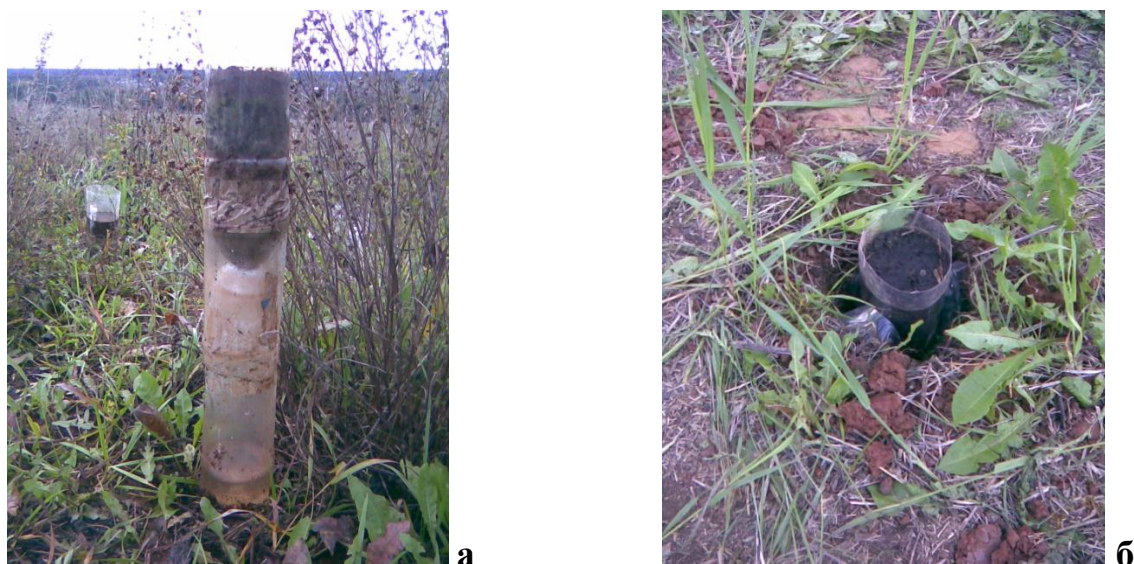
В таблицах 1, 2 приведены рассчитанные параметры подвижности ЗВ в поверхностном слое почвы, значения наблюдаемой константы скорости и периода полувыведения ( $\alpha = 0,5$ ), для некоторых видов ЗВ, при испытаниях загрязненных образцов различных типов почв, характерных для Удмуртии, на стенде.

**Таблица 1.** Наблюдаемые константы скорости выделения ЗВ и период их полувыведения ( $\alpha = 0,5$ ) из загрязненного слоя промытого речного песка

Загрязняющее вещество	Константа скорости		Период полувыведения, лет, $T_{г,0.5}$
	Загрязнение, ПДК по ТМ	$k_n, c^{-1}$	
CuO	10	$1,238 \cdot 10^{-9}$	$3,92 \cdot 10^3$
	100	$5,836 \cdot 10^{-10}$	$8,31 \cdot 10^3$
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	$7,791 \cdot 10^{-10}$	$6,23 \cdot 10^3$
	100	$1,558 \cdot 10^{-10}$	$3,11 \cdot 10^4$
CdO	10	-	не выводится
	100	$4,533 \cdot 10^{-11}$	$1,07 \cdot 10^5$

### **Исследование поведения ЗВ в почвах в полевых условиях**

Для исследования особенностей поведения тяжелых металлов как поллютантов в почве в полевых условиях были разработаны специальные устройства, исключающие загрязнение окружающей среды, вид которых показан на рисунке 2. Устройства состоят из колонок с образцами загрязненных почв, которые помещаются в условия воздействия природных факторов в углубление в грунте, при этом колонка соединяется со сборником фильтрата, объем которого рассчитывается, исходя из количества атмосферных осадков и периодичности отбора проб фильтрата.



**Рис. 2.** а - вид устройства для полевых испытаний с загрязненной почвой;  
б - установка устройства в углубление в грунте.

**Таблица 2.** Константы скорости выделения и период полувыведения  $\text{NaAsO}_2$  ( $\alpha = 0,5$ ) из загрязненных образцов различных типов почв, характерных для Удмуртии

Загрязненный образец	Гумус, %	Показатели подвижности ЗВ	Загрязнение	
			10 ПДК по As	100 ПДК по As
дерново-карбонатная почва	3,73	$k_n, \text{с}^{-1}$	$1,733 \cdot 10^{-7}$	$7,880 \cdot 10^{-7}$
		$T_{г,0,5}, \text{лет}$	40,39	8,88
темно-серая лесная почва	5,96	$k_n, \text{с}^{-1}$	$1,677 \cdot 10^{-7}$	$2,772 \cdot 10^{-6}$
		$T_{г,0,5}, \text{лет}$	41,74	2,53
дерново-подзолистая почва	2,55	$k_n, \text{с}^{-1}$	$1,770 \cdot 10^{-7}$	$1,776 \cdot 10^{-6}$
		$T_{г,0,5}, \text{лет}$	39,55	3,94
торф	25,00	$k_n, \text{с}^{-1}$	$5,186 \cdot 10^{-7}$	$2,789 \cdot 10^{-6}$
		$T_{г,0,5}, \text{лет}$	13,50	2,51
речной песок, промытый	0,00	$k_n, \text{с}^{-1}$	$4,449 \cdot 10^{-7}$	$1,017 \cdot 10^{-5}$
		$T_{г,0,5}, \text{лет}$	15,73	0,69

Через определенные периоды наблюдения осуществляется отбор фильтрата, определяется его объем и содержание ЗВ. Также исследуется состояние загрязненной почвы. Простота устройств позволяет проводить испытания на большом количестве образцов загрязненной почвы при различных вариантах воздействия, получая большой экспериментальный материал [9]. С применением устройств были проведены определения степени выделения мышьяка при загрязнении различных типов региональных почв арсенитом натрия и другими соединениями ТМ в условиях воздействия природных факторов и атмосферных осадков в летне-осенний период и в виде талых вод - в весенне-зимний период. В таблице 3 приведены некоторые

данные для полевых испытаний особенностей поведения ЗВ в почвах и проведено их сравнение с результатами лабораторных исследований.

**Таблица 3.** Степень выделения  $\text{NaAsO}_2$  из загрязненного слоя почвы в летне-осенний период по данным полевых испытаний и по расчетным данным лабораторных исследований

Тип загрязненной почвы	Загрязнение, ПДК	Выделение, % от исх.	
		Экспер.	Расчетн.
дерново-карбонатная	10	0,280	0,618
темно-серая лесная	10	0,003	0,598
дерново-подзолистая	10	1,042	0,632
светло-серая лесная	10	0,037	не исслед.
речной песок, промытый	10	4,172	1,589

Результаты лабораторных и полевых исследований особенностей поведения в региональных почвах арсенита натрия, который является продуктом разложения люизита, позволили интерпретировать результаты экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия в г. Камбарке [9].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны методы и устройства для исследования особенностей поведения ЗВ, в том числе новых видов, в окружающей среде, в частности, в поверхностном почвенном слое, на который направлено техногенное воздействие. По результатам исследований формулируется заключение о локализации или делокализации техногенных загрязнений, что позволяет разрабатывать рекомендации по совершенствованию системы экологического мониторинга промышленных предприятий, в том числе таких как АЭС, объекты по уничтожению химического оружия и другие опасные производства, а также определять мероприятия по санации загрязненных территорий с разработкой соответствующих рецептов для обезвреживания ЗВ.

Список литературы:

1. ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа»; ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб».
2. Габричидзе Т.Г., Янников И.М., Зубко Т.Л., Козловская Н.В. // Интеллектуальные системы в производстве. 2006. № 2 (8). С. 203.
3. Патент 2590554 РФ, 2014.
4. Заявка на получение патента № 2016113044/(020466) РФ, 2016.
5. Петров В.Г., Шумилова М.А. // Хим. физика и мезоскопия. 2012. Т. 14. № 2. С. 257.
6. Петров В.Г., Шумилова М.А., Смолина Н.Д., Набокова О.С. // Теор. и прикл. экология. 2013. № 3. С. 50.
7. Петров В.Г., Шумилова М.А., Харалдина Е.А., Сергеев А.А. // Хим. физика и мезоскопия. 2012. Т. 14. № 3. С. 430.

8. [https://www.ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/46/46714/](https://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46714/) (дата обращения 12.03.2017).
  9. *Петров В.Г., Шумилова М.А.* Поведение арсенита натрия в почвах Удмуртии. Ижевск: Изд-во Института механики УрО РАН, 2016. 176 с.
- 

## STUDY OF BEHAVIOR OF NEW TYPES OF POLLUTANTS IN THE ENVIRONMENT

*V. G. Petrov\* and M. A. Shumilova*

Institute of Mechanics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia,  
e-mail: petrov@udman.ru

Received March 31, 2017

**Abstract** – Methods and devices for studying the behavior of chemical pollutants in the environment have been developed. The methods make it possible to avoid re-contamination of natural environments and can be used for investigating technogenic impact of highly toxic and radioactive substances on the environment. The results of the research can be applied for recommendations on organizing environmental monitoring of industrial facilities as well as developing rehabilitation methods for polluted territories.

*Keywords:* pollutants, behavior patterns, research methods and devices.