

**С. С. Егемова^{1,2}, Н. В. Бакайкина^{1,2}, Т.Н. Акылбекова²,
М. Б. Алимжанова^{1,2}**

¹Центр физико-химических методов исследования и анализа
г. Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби
г. Алматы, Казахстан

**МОНИТОРИНГ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ
В ПОЧВАХ г. АЛМАТЫ
МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ
С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ
В СОЧЕТАНИИ С ТВЕРДОФАЗНОЙ
МИКРОЭКСТРАКЦИЕЙ**

Аннотация. Показана актуальность совершенствования аналитических методов мониторинга объектов окружающей среды. Рассмотрены классические и современные методики пробоподготовки почвы. Представлен принцип метода твердофазной микроэкстракции. Рассмотрены его возможности, особенности в почвенных образцах с 9 детских площадок г. Алматы были одновременно идентифицированы различные группы токсических органических загрязнителей: ароматические и полициклические ароматические углеводороды, фенолы и альдегиды.

Ключевые слова: органические загрязнители, почва, твердофазная микроэкстракция.



Түйіндеме. Қоршаған орта нысандарын аналитикалық бақылау әдістерін жетілдірудің маңыздылығы көрсетілген. Топырақ үлгілерін дайындаудың

классикалық және қазіргі таңдадағы әдістемелері қарастырылған. Қатты фазалы микроэкстракция әдісінің мүмкіншіліктері, ерекшеліктері және басымдығы көрсетілген. Барлық тәжірибелер масс-спектрометрмен жабдықталған газды хроматографиямен біріктірілген қатты фазалы микроэкстракция әдісімен жүргізілді. Келесі экстракция жағдайлары қолданылды: 85 мкм полидиметилсилоксан/карбоксен экстракциялық бүркену, экстракция температурасы 70 °С, уақыты 20 мин. 10 % сулы натрий хлориды ерітіндісімен нәтижесінде үлгілердің қорытынды ылғалдығы 20 % құрады. Тәжірибелер нәтижесінде ұсынылған әдіспен Алматы қаласындағы тоғыс балалар алаңшаларынан алынған топырақ үлгілерін қатты фазалы микроэкстракция әдісін қолдану нәтижесінде бірқатар улы органикалық ластаушылар анықталынды ароматикалық көмірсутектер, фенолдар және альдегидтер бірмезетте анықталды.

Түйінді сөздер: топырақ, органикалық ластаушылар, қатты фазалы микроэкстракция.



Abstract. The actuality of improving of analytical methods for monitoring of the environmental objects is shown. The classical and modern methods of soil's sample preparation were examined. The article present the principles of the method of solid-phase micro extraction, capabilities, features, and benefits. Experiments were carried out with the use of method of solid-phase microextraction in combination with mass spectrometry. The extraction conditions were the following: extractional polydimethylsiloxane covering / carboxyl 85 microns at 70 °С and the extraction time was 20 minutes and 10 minutes of preincubation, respectively with addition of 10 % aqueous solution of sodium chloride, and humidity of 20 % of the analyzed samples. As a result of experiments in soil samples from nine playgrounds from Almaty were simultaneously identified different groups of toxic organic pollutants: aromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons, phenols and aldehydes.

Key words: organic pollutants, soil, solid-phase microextraction.

Введение. Экологически обусловленные заболевания человека преимущественно связаны с плохим качеством воздуха, воды и почвы, а также уровнем шумового загрязнения, воздействием электромагнитного и ультрафиолетового излучения. По результатам многочисленных исследований антропогенное загрязнение воздуха внутри и вне помещений, воды и почвы опасными химическими веществами, стрессовым воздействием шума провоцируют развитие респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, астмы, аллергий, рака, а также расстройств репродуктивной и центральной нервной системы.

Особенную группу риска составляют дети. За последнее десятилетие деятельность многих международных организаций по охране окружающей среды направлена на защиту здоровья детей и уменьшение доли экологически обусловленных заболеваний в этой возрастной группе [1].

В Постановлении Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2011 г. № 1684 Об утверждении санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам воспитания и образования детей и подростков» подробно описаны все требования к объектам окружающей среды. В центральной лаборатории Республиканской санитарно-эпидемиологической станции г. Алматы и Алматинской области один раз в год отбираются почвенные образцы с детских площадок. Анализ проводится по международному ГОСТ 17.4.2.01-81, действующему на территории Казахстана. Согласно данному нормативному документу методом пробоподготовки для анализа определения органических загрязнителей является экстракция углеводородным растворителем, с последующим концентрированием на аппарате Кудерна – Даниша. Данный подход требует материальных и временных затрат и позволяет определять лишь одну группу органических загрязнителей [2, 3].

Одной из основных задач зеленой аналитической химии является выявление наиболее опасных загрязнителей почвы. К основным органическим загрязнителям почв относятся полиароматические углеводороды (ПАУ), пестициды, полихлорбифенилы (ПХБ), диоксины, спирты, фенолы и т. д. Большинство из данных веществ токсичны (например пестициды, ПХБ, ПАУ и диоксины). Это опасные супертоксиканты, внесенные в список приоритетных загрязнителей воды, воздуха и почвы в Казахстане, России, США и большинстве стран Европы. В мировой практике контроль за состоянием и степенью загрязнения почвы осуществляется с помощью стандартных методик. Анализ данных методик определения загрязнителей в объектах окружающей среды показал, что на пробоподготовку приходится 50-90 % всех временных и трудовых затрат [4].

Почва относится к наиболее сложным матрицам в экологическом анализе, обладает различным структурным и химическим составом, затрудняющим стадию пробоподготовки. Подготовка пробы является основой любого аналитического определения. Для проведения анализа твердых и жидких образцов на наличие органических токсикантов необходимо извлечь его (аналит). В мировой аналитической практике для извлечения органических загрязнителей из почвы используются: термодесорбция, парофазный анализ, жидкостно-жидкостная экстракция, экстракция растворителем с применением микроволн, сверхкритическая флюидная экстракция, ускоренная экстракция органическим растворителем, экстракция в микроволновом поле и т. д. [5]. Первыми двумя способами извлекают летучие и среднелетучие вещества. Труднолетучие и нелетучие вещества извлекают жидкостно-жидкостной экстракцией, экстракцией растворителем с помощью микроволн, а также экстракцией суперкритической водой. Все органические соединения можно извлечь ускоренной экстракцией органическим растворителем и экстракцией в микроволновом поле.

Классические методы пробоподготовки почвенных образцов основаны на продувке и улавливании на сорбент, фильтровании, осаждении, дериватизации, твердофазной экстракции, парофазной экстракции и др. [6]. Однако совместные усилия химиков различных стран в области экологической аналитической химии за последние 10 лет привели к существенному прогрессу в развитии методов анализа и методов пробоподготовки объектов окружающей среды.

Среди использующихся в настоящее время современных методов пробоподготовки при определении органических загрязнителей в объектах окружающей среды наибольшую чувствительность и степень автоматизации способны обеспечить такие методы, как метод продувки и улавливания, твердофазная микроэкстракция (ТФМЭ) и парофазный анализ (ПФА). Благодаря использованию данных методов значительно повышается чувствительность определения, уменьшаются время анализа и затраты реактивов. Возможность автоматизации процесса снижает вероятность случайной ошибки анализа за счет уменьше-

ния влияния человеческого фактора. Наиболее популярным и, как следствие, широко используемым является метод ТФМЭ, что обусловлено простотой его аппаратного оформления, гибкостью, универсальностью, экспрессностью и др. [1]. ТФМЭ разработан в 1989 г. Янушем Павлишиным (университета Ватерлоо, Канада) [7]. Метод твердофазной микроэкстракции обладает такими характерными особенностями, как:

- отсутствие необходимости в токсичных органических растворителях;
- высокая степень концентрирования неполярных соединений на микропокрытии;
- высокая конечная чувствительность метода;
- концентрация на волокне лишь летучих и полулетучих соединений при экстракции из газовой фазы;
- полная автоматизируемость;
- простая регенерация микропокрытия;
- низкая стоимость в пересчете на один анализ;
- возможность интеграции процессов пробоотбора, пробоподготовки и анализа.

Теория метода и возможности применения ТФМЭ для извлечения и концентрирования микропримесей загрязняющих веществ из различных матриц изложены в обзорах [8-11]. Метод основан на экстракции летучих органических соединений образца, из газовой фазы, микрополимерным покрытием с последующей их десорбцией в аналитическом приборе (рис. 1).

Метод ТФМЭ обладает большой селективностью по отношению к летучим и полулетучим органическим соединениям, с которыми ученые связывают наибольшие экологические риски ввиду их высокой мобильности в окружающей среде и токсичности по отношению к живым организмам. Селективность ТФМЭ определяется природой полимерной жидкости, наносимой на кварцевое волокно, что позволяет, например, отделить в процессе пробоподготовки полярные вещества от неполярных, реакционноспособные до инертных и т. д. Такой селективный отбор способствует повышению надежности идентификации контролируемых компонентов [7].

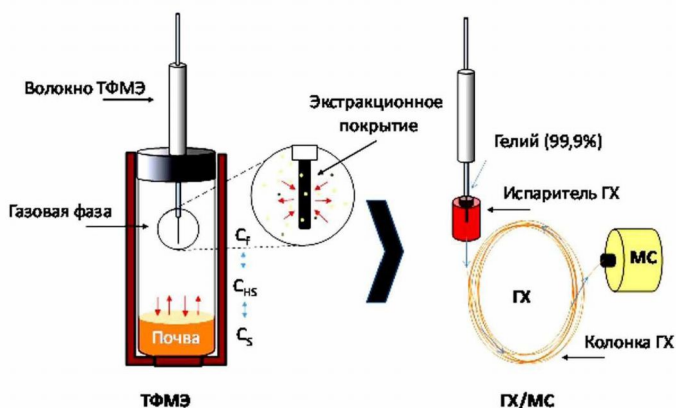


Рис. 1. Схема анализа почвенных образцов методом ТФМЭ/ГХ/МС

Литературный обзор методик одновременного определения органических соединений в почве методом ТФМЭ выявил сложности с экстракцией труднолетучих органических загрязнителей в газовую фазу. Поэтому учеными предлагается сочетание ТФМЭ с различными видами классической экстракции, например, предварительная экстракция органическим растворителем, получение и анализ водно-почвенной суспензии [12-22] и т. д. Для обеспечения более эффективного перевода аналитов в газовую фазу экстракция проводится перемешиванием на магнитной мешалке при температуре 25-90 °С [13, 20, 22]. Большинство представленных научных работ посвящены определению хлор- и фосфорорганических пестицидов в связи с их высокой токсичностью и быстрой миграцией в почве [14, 17, 22].

На основании литературных материалов на тему определения органических загрязнителей в почве методом ТФМЭ можно сделать следующие выводы:

- целью большинства научных работ является оптимизация условий ТФМЭ;
- предлагаемые методики ТФМЭ разработаны для схожих по природе аналитов, например фенола и фенольных соединений, группы пестицидов и т. д.;

• лишь несколько работ посвящено одновременному определению органических загрязнителей из почвы.

Существующая стандартизированная методика US EPA (United States Environmental Protection Agency, Агентство по охране окружающей среды США) 5035A позволяет определить 79 органических загрязнителей одновременно. Официальная методика МУК 4.1.1062-01, действующая на территории Казахстана, позволяет определить 34 органических соединения. Таким образом, задачей стала оптимизация условий пробоподготовки для экспрессного одновременного определения летучих и среднелетучих органических загрязнителей в почве методом ТФМЭ в сочетании с ГХ/МС (газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием).

Экспериментальная часть.

Отбор проб. Почвенные образцы для анализа были отобраны с 9 детских площадок жилых районов г. Алматы. Места отбора проб представлены на рис. 2.

Условия экстракции. В результате проведения ряда экспериментов для разработки методики скрининга летучих, среднелетучих и труднелетучих органических загрязнителей методом ТФМЭ/ГХ/МС в образцах почв был выполнен выбор:

- 1) оптимального экстракционного покрытия;
 - 2) оптимальных условий экстракции: температура и время;
 - 3) оптимального времени преинкубации;
 - 4) оптимального экстракционного покрытия;
 - 5) оптимальных условий экстракции: температура и время;
 - 6) оптимального времени преинкубации;
 - 7) оптимальной температуры для ТФМЭ органических соединений из влажных почвенных образцов;
- а также изучено влияние:
- 8) различной влажности почв на ТФМЭ;
 - 9) добавки соли на ТФМЭ органических соединений из почвы.

В результате проведенных исследований установлено, что экстракционное покрытие на основе карбоксен/полидиметил-

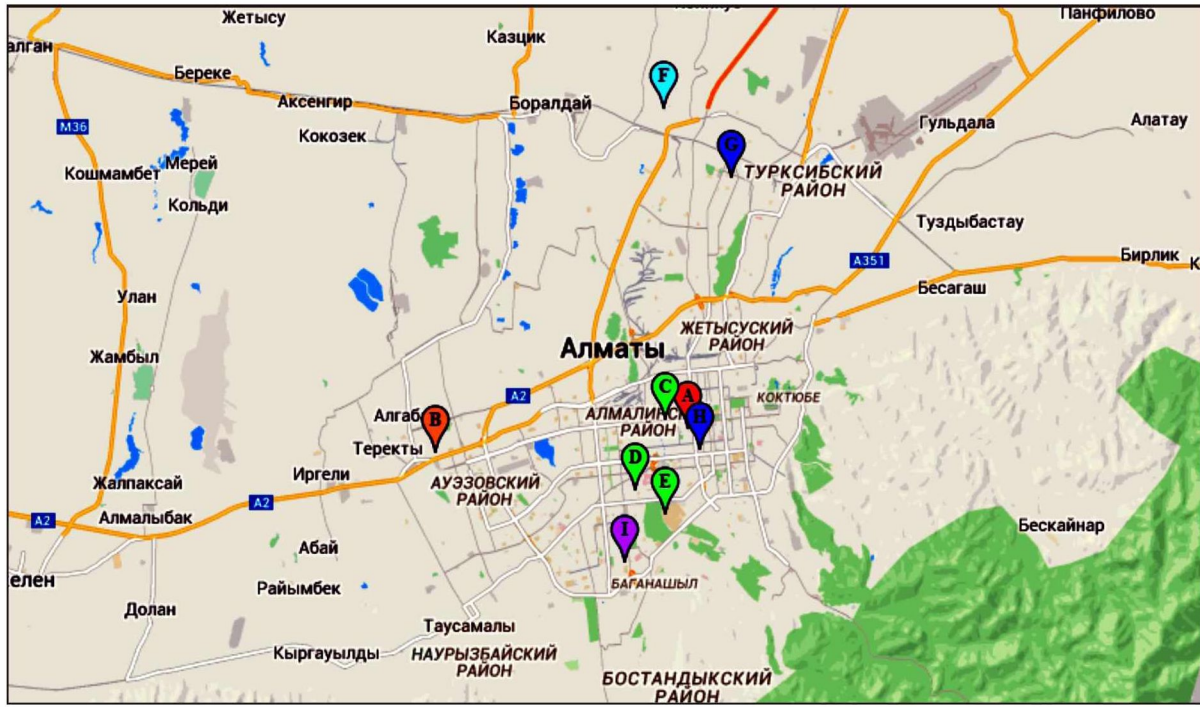


Рис. 2. Места отбора почвенных образцов (карта г. Алматы)

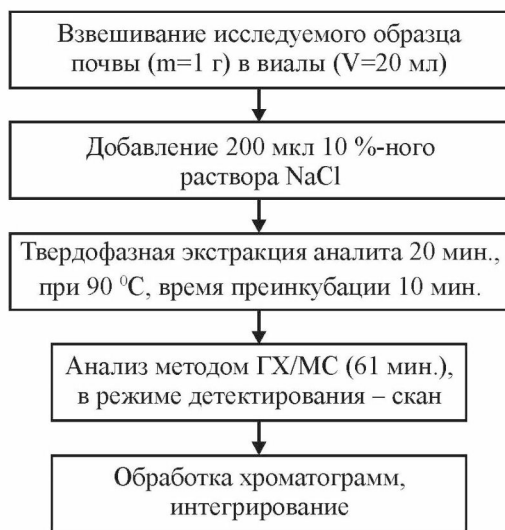


Рис. 3. Схема методики определения органических соединений в почве методом ТФМЭ/ГХ/МС

силоксана (85 мкм) является наиболее эффективным. Температура 70 °С выбрана в качестве оптимальной для экстракции органических соединений из сухих почвенных образцов, для увлажненных образцов – 90 °С. Время проведения экстракции составило 20 мин., а время преинкубации 10 мин., что обеспечивает хороший сигнал аналитов при минимальных временных затратах. Также для увеличения чувствительности анализа при проведении скрининга почв методом ТФМЭ необходимо

увлажнять образцы почв 10 %-ным раствором хлорида натрия так, чтобы влажность при этом составляла 20 %. Схема анализа по предлагаемой методике представлена на рис. 3.

Пробоподготовка. Отобранные пробы почвы массой 50 г, подлежащие анализу, сушили при комнатной температуре и просеивали через сито с размером пор 1 мм фарфоровой ступкой. Затем пробу квартовали и отбирали для анализа параллельные навески массой 1 г в виалы объемом 20 мл. Далее анализ проводили по схеме (см. рис. 3).

Методы анализа. Для управления всей газохроматографической системой, регистрации и обработки хроматографических данных использовали программное обеспечение AMDIS (версия 1701EA). Обработка данных включала в себя определение времени удерживания, высот и площадей пиков, а также обработку, полученной с помощью масс-спектрометрического детектора, спектральной информации. Для расшифровки полученных масс-спек-

ров использовали библиотеки Wiley 7th edition и NIST'02 (National Institute of Standard sand Technology, Национальный институт стандартов и технологий США) общее количество спектров в библиотеках – более 550 тыс.). Параметры хроматографического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры анализа почв методом ТФМЭ/ГХ/МС

Параметр	Значение
1	2
Газовый хроматограф	Agilent 7890A (Agilent, USA)
Детектор	Масс-спектрометр – 5975С (Agilent, USA)
Хроматографическая колонка	DB 5-MS 60 м x 0,25 мм, толщина пленки 0,25 мкм
Температура устройства для ввода пробы	250 °С
Режим ввода пробы	Split (10:1)
Скорость газа-носителя (гелий)	1 мл/мин (постоянный поток)
Температура хроматографирования	40°С (выдержка 5 мин.), нагрев до 300 °С со скоростью 5 °С/мин. (выдержка 10 мин.)
Температура МСД интерфейса	280 °С
Режим детектирования	Scan, m/z 34-550
Время анализа, мин	61

Результаты и обсуждение. Полученные хроматограммы почвенных образцов представлены на рис. 4 и 5, а результаты анализа – в табл. 2.

Во всех исследованных почвенных образцах обнаружено множество токсичных органических соединений. Например, в почве с территории ул. Ауезова уг. ул. Бухар-жырау были обнаружены бензальдегид, ацетофенон, фенол и другие токсичные соединения.

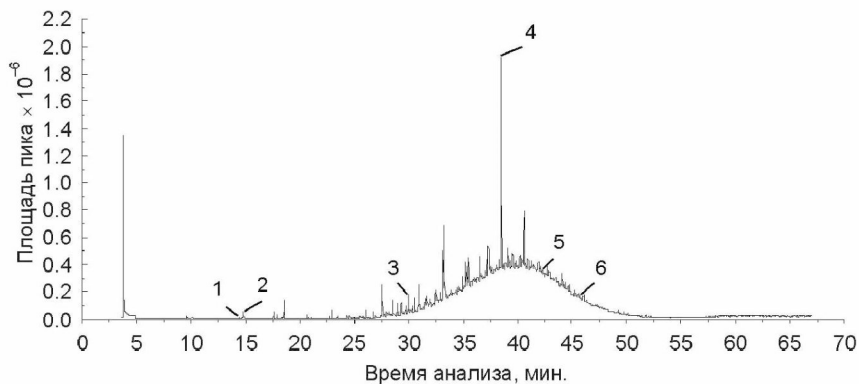


Рис. 4. Хроматограмма почвенного образца, отобранного в мкр-не Кожкиек: 1 – фенол; 2 – бензоальдегид; 3 – ацетонафталин; 4 – бензолдикарбоновая кислота; 5 – фенилнафталин; 6 – β -пирен

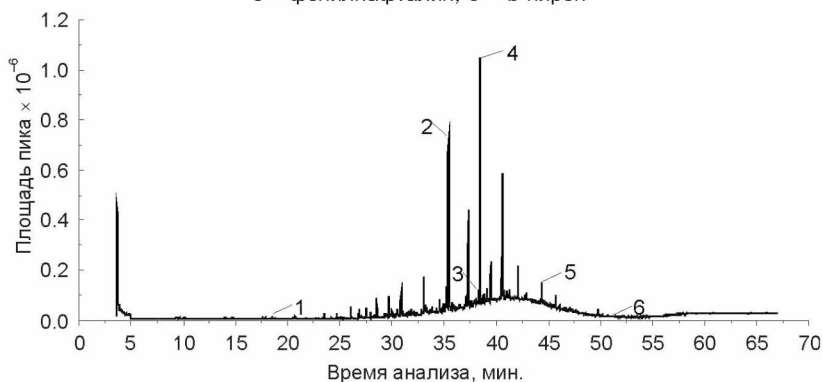












Рис. 5. Хроматограмма почвенного образца, отобранного в мкр-не Аккент: 1 – ацетофенон; 2 – гексахлорбензол; 3 – фенантрен; 4 – бензолдикарбоновая кислота; 5 – дибутилфталат; 6 – флуорантрен; 7 – β -пирен; 8 – бензофлуорантрен

Наиболее токсичные полициклические ароматические углеводороды (ацетофенон, пирен, фенантрен) найдены в почвенных образцах с территории КазНУ им. аль-Фараби (общезитие № 15), с детской площадки по ул. Толе би уг. ул. Шагабутдинова, в почвах мкр-на Алмагуль, в почвах по ул. Сейфуллина, уг. ул. Шолохова, в мкр-не Аккент и на пересечении ул. Мауленова и Богенбай батыра.

Таблица 2

**Основные органические загрязнители,
обнаруженные в почвенных образцах**

Наименование соединения	Токсичность, по NTPA 704 (опасность для здоровья людей)	Структурная формула	Место отбора почвенных образцов (пересечение улиц г. Алматы)							
			Масанчи – Боғенбай батыра (А)	мкр-н Аккент (В)	Толе би – Шағабудина (С)	Ауэзова – Бұхаржырау (D)	Общезитие № 15 КазНУ (Е)	мкр-н Кокжиек (F)	Сейфуллина – Шолохова (G)	ул. Мауленова (H)
Площадь пика × 10 ⁻³										
Ацетонафталин	2							10,2		
Ацетофенон	1		4,9	17,3	41,8					22,6
Бензальдегид	3		3,50			10,2		2,5		
Бензофлуорантрен	2			0,90						
Флуорантрен	–		22,8	37,7						
Фенантрен	1			22,2			65,0		19,4	19,2
Фенол	3							9,50		
Фенилнафтален	–						1,57	23,0	2,07	4,80
Пипен	2				27,3		10,3			17,8
β-пирен	2		10,6	19,4	11,7			23,9	7,70	9,10

Большинство обнаруженных соединений являются продуктами неполного сгорания топлива и содержатся в атмосферном воздухе в больших концентрациях. Они могут попадать в почву с атмосферными осадками либо в результате оседания взвешенных частиц на поверхности почвы. В связи с отсутствием специальных площадок для парковки автомашин жильцы многоквартирных домов паркуют свой транспорт во дворах возле детских площадок, что служит дополнительным источником загрязнения окружающего воздуха и почвы.

Закключение. Полученные результаты показывают актуальность мониторинга концентраций токсичных соединений в почвах населенных пунктов, особенно в местах непосредственного контакта людей с почвой (на детских площадках, в детских садах, сельскохозяйственных угодьях и др.). Применение метода твердофазной микроэкстракции для определения органических загрязнителей в образцах почв позволило существенно снизить временные и финансовые затраты на проведение анализа, полностью автоматизировать процесс пробоподготовки и анализа. С помощью метода ГХ/МС обеспечивается получение максимально подробной информации о токсичных химических соединениях, присутствующих в образце.

Апробация разработанной методики на почвенных образцах с детских площадок г. Алматы предоставила возможность одновременного экспрессного определения широкого спектра токсичных органических соединений. Кроме того, методика очень проста в использовании и приемлема для анализа большого количества образцов с минимальными затратами.

Список литературы

1 *Ballesteros-Gomes A., Rubio S.* Recent advances in environment alanalysis // *Analytical Chemistry*. – 2011. – Vol. 83. – P. 4579-4613. doi:10.1021/ac200921j

2 Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2011 г. № 1684 Об утверждении санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам воспитания и образования детей и подростков».

3 СТ РК 2131-2011. «Качество почвы. Определение хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов. Газохроматографический метод с электронозахватным детектором».

4 Другов Ю.С., Родин А.А. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов: практ. рук-во. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 414 с.

5 Другов Ю.С., Зенкевич И.Г., Родин А.А. Газохроматографическая идентификация загрязнителей воздуха, воды, почвы и биосред: практ. рук-во. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 743 с.

6 Кенесов Б.Н. Идентификация продуктов трансформации несимметричного диметилгидразина в почвах методом твердофазной микроэкстракции в сочетании с хроматомасс-спектрометрией // Докл. НАН РК. – № 2. – С. 53-57.

7 Handbook of solid phase microextraction // Edited by Pawliszyn J. – University of Waterloo, Canada, 2011.

8 Zhang Zh., Jang M.J., Pawliszyn J. Solid-phase microextraction: a solvent free alternative for sample preparation // Analytical Chemistry. – 1994. – Vol.66(17). – P.844-853. doi:10.1021/ac00089a001.

9 Vas G., Vekey K. Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis // Journal of Mass Spectrometry. – 2004. – Vol. 39. – P. 233-251. doi:10.1002/jms.606.

10 Arthur C.L., Pawliszyn J. Solid-phase microextraction with thermal desorption using fused-silica optical fibers // Analytical Chemistry. – 1990. – Vol. 62. – P. 2145-2148. doi:10.1021/ac00218a019.

11 Егемова С.С., Кенесов Б.Н., Наурызбаев М.К., Мусина З.М. Определение среднелетучих органических загрязнителей в почве методом твердофазной микроэкстракции: обзор // Изв. НАН РК. Сер. химии и технологии. – 2014. – № 5. – С. 27-33.

12 Llompарт M., Li K., Fingas M. Headspace solid phase microextraction (HSSPME) for the determination of volatile and semivolatile pollutants in soils // Talanta. – 1999. – Vol. 48. – P. 451-459. doi:10.1016/S0039-9140(98)00263-X.

13 Baciocchi R., Attina M., Lombardi G., Boni M.R. Fast determination of phenols in contaminated soils // Journal of Chromatography. – 2001. – Vol.81. – P. 135-141. doi:10.1016/S0021-9673(00)01249-8.

14 Dungan R.S. Headspace solid phase microextraction (HS SPME) for the determination of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX)

in oundrymolding sand // *Analytical Letters*. – 2013. – Vol. 38. – P. 2393-2405. doi:10.1080/00032710500318007.

15 *Zhao R., Wang X., Fu Sh., Yuan J., Jiang T., Xu X.* A novel headspace solid-phase microextraction method for the exact determination of organochlorine pesticides in environmental soil samples // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2006. – Vol. 384. – P. 1584-1589. doi:10.1007/s00216-006-0341-5.

16 *Fernandez-Alvarez M., Llompарт M., Lamas J.P., Lores M., Garcia-Jares C., Cela R., Dagna T.* Simultaneous determination of traces of pyrethroids, organochlorines and other main plant protection agents in agricultural soils by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography // *Journal of Chromatography A*. – 2008. – Vol. 1188. – P. 154-163. doi:10.1016/j.chroma.2008.02.080.

17 *Brown S., Rickrode M., Caldwell T.* Determination of JP-8 components in soils using solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry // *Fuel*. – 2008. – Vol. 87. – P. 2334-2338. doi:10.1016/j.fuel.2008.01.006.

18 *Wang Y., Zhang J., Ding Y., Zhou J., Ni L., Sun C.* Quantitative determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in soil samples using solid-phase microextraction // *Journal of Separation Science*. – 2009. – Vol. 32. – P. 3951-3957. doi:10.1002/jssc.200900420.

19 *Mohammadi A., Ameli A., Alizadeh N.* Headspace solid-phase microextraction using a dodecylsulfate-doped polypyrrole film coupled to ion mobility spectrometry for the simultaneous determination of atrazine and ametryn in soil and water samples // *Talanta*. – 2009. – Vol. 78. – P. 1107-1114. doi:10.1016/j.talanta.2009.01.025.

20 *Kenessov B.N., Koziel J.A., Grotenhuis T., Carlsen L.* Screening of transformation products in soils contaminated with unsymmetrical dimethylhydrazine using headspace SPME and GC-MS // *Analytica Chimica Acta*. – 2010. – Vol. 674. – P. 2-39. doi:10.1016/j.aca.2010.05.040.

21 *Rada D., Durovic, Jelena S., Gajić Umiljendić, Svjetlana B. Čupać and Ljubić M. Ignjatović.* Solid phase microextraction as an efficient method for characterization of the interaction of pesticides with different soil types // *Journal of the Brazilian Chemical Society*. – 2010. – Vol. 21(6). – P. 985-994. doi:10.1590/S0103-50532010000600007.

22 *Durovič R.D., оорpevič T.M., ðantrič L.R., Gaðič S.M., Ignjatovič L.M.* Headspace solid phase microextraction method for determination of triazine and organophosphorus pesticides in soil // Journal of Environmental Science and Health. Part B. – 2010. – Vol. 45. – P. 626-632. doi:10.1080/03601234.2010.502416.

Егемова Салтанат Сабитовна, *PhD-студент*

e-mail: s.egemova@gmail.com

Бакайкина Надежда Викторовна, *PhD-студент*

e-mail: kans.ascity@bk.ru

Акылбекова Турар Наурызбаевна, *кандидат химических наук*

e-mail: turar.83@mail.ru

Алимжанова Мереке Бауыржановна, *кандидат химических наук*,

e-mail mereke.84@mail.ru