

ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА И МЕТИЛГИДРАЗИНА В ОБРАЗЦАХ ПРИРОДНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ДЕРИВАТИЗАЦИИ IN SITU И ПФ-ТФМЭ-ГХ-МС/МС АНАЛИЗА

М.С. Попов, Д.С. Косяков, Н.В. Ульяновский

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Центр коллективного пользования научным оборудованием «Арктика», Наб. Северной Двины, д. 17, 163002, г. Архангельск, Россия.

markiz.popov@yandex.ru

Такие алкилгидразины, как метилгидразин (МГ) и несимметричный диметилгидразин (НДМГ), широко используются в качестве компонентов ракетного топлива. Их применение связано с риском загрязнения водных объектов вследствие аварийных проливов и неполного сгорания, что представляет серьёзную угрозу для экосистем и здоровья человека из-за высокой токсичности и способности образовывать опасные продукты трансформации. В связи с этим точное определение МГ и НДМГ в водных средах является важной аналитической задачей. Основная проблема определения алкилгидразинов в воде связана с их высокой полярностью, гидрофильностью и реакционной способностью, что затрудняет их прямой анализ методом газовой хромато-масс-спектрометрии и снижает эффективность извлечения, в том числе при использовании парофазной твердофазной микроэкстракции (ПФ-ТФМЭ). Для преодоления этих ограничений перспективным является подход, основанный на дериватизации анализируемых соединений с образованием менее полярных и более летучих производных.

Разработан подход к одновременному определению МГ и НДМГ в водных образцах с использованием in situ дериватизации пентаналем с последующим анализом методом ПФ-ТФМЭ-ГХ-МС/МС. Образующиеся гидразоны обладают меньшей, чем исходные гидразины полярностью, что обеспечивает их эффективное извлечение из газовой фазы и высокую чувствительность метода. Проведена оптимизация условий пробоподготовки и экстракции, включая выбор типа волокна, температуры, времени экстракции, времени преинкубации и pH среды. Установлено, что наилучшие результаты достигаются при использовании волокна PDMS/DVB, температуре экстракции 50 °C, времени экстракции 30 мин, времени преинкубации 10 минут и $\text{pH} \geq 7$. При оптимальных условиях пределы количественного определения составили 0,07 мкг/л для НДМГ и 0,03 мкг/л для МГ. Подход обеспечивает широкий диапазон определяемых концентраций, высокую воспроизводимость и соответствует строгим требованиям к качеству воды, включая водоёмы рыбохозяйственного назначения. Была произведена оценка матричных влияний методом введено-найденно в разных типах водных матриц, показана устойчивость правильности определения при анализе водопроводной воды, речной воды, талого снега. Была изучена динамика деградации гидразинов в различных типах природных вод.

Предложенный способ позволяет эффективно определять алкилгидразины в сложных водных матрицах и может быть использован для мониторинга загрязнений, связанных с ракетно-космической деятельностью. По сравнению с существующими подходами разработанный подход отличается простотой, отсутствием многостадийной пробоподготовки, минимальным использованием реагентов и соответствует принципам «зелёной» аналитической химии.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» САФУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект госзадания проект госзадания FSRU-2024-0003)