

**РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ
СРЕДСТВ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

**RESULTS OF TESTING OF CONTINUOUS ENVIRONMENTAL
QUALITY CONTROL TOOLS IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC**

Чл.-корр. РАРАН А.В. Топоров¹, чл.-корр. РАРАН В.Б. Коновалов¹, С.В. Саркисов²

¹ВА МТО им. А.В. Хрулева, ²ВИ(ИТ) ВА МТО им. А.В. Хрулева

A.V. Toporov, V.B. Kononov, S.V. Sarkisov

В настоящей работе представлены результаты опытной эксплуатации экспериментального газоанализатора, разработанного специалистами Военной академии МТО им. генерала армии А.В. Хрулева, на территории Сирийской Арабской Республики. Приведены результаты испытаний систем газоанализатора по контролю загрязнителей в воздухе, воде, почвах и грунтах на основе одного физического метода. Показаны преимущества применения разработанных аналитических систем в области полевого анализа.

Ключевые слова: вещества загрязнители, сенсоры, насыщенный пар, эманация вещества, окружающая среда.

This paper presents the results of the pilot operation of an experimental gas analyzer developed by specialists of the Military Academy of the MTO named after General of the Army A.V. Khrulev, on the territory of the Syrian Arab Republic. The results of tests of gas analyzer systems for the control of pollutants in air, water, soil and soil on the basis of a single physical method are presented. The advantages of using the developed analytical systems in the field of field analysis are shown.

Keywords: substance pollutants, sensors, saturated steam, the emanation of matter, the environment.

Экологическая проблема в Сирии возникла как следствие расширения фабрично-заводского производства, в основе которого лежат либо устаревшие технологии, либо отсутствие каких-либо очистных сооружений.

Практически действует практика отказа от возведения объектов, цель которых состоит в поддержании экологического равновесия и защиты окружающей среды от экологического давления насосных и перекачивающих станций, шлаковых коллекторов, канализационных магистралей, мусоросборников, заводов по переработке и утилизации сухих и жидких промышленных отходов, а также других промышленных комплексов.

В условиях Сирии нарушение экологического баланса проявляется в отравлении атмосферного воздуха токсическими веществами, в загрязнении отходами открытых водоемов и прилежащих территорий, что значительно ухудшает их санитарное состояние, затрудняет их использование для целей хозяйственного и питьевого водоснабжения.

Загрязненность, будучи совокупным результатом производственной деятельности, обладает комплексным воздействием на биосферу и проявляется по многим направлениям. Одним из наиболее разрушаемых последствий для функционирования живой природы является нару-

шение баланса окружающей среды: воздушной, водной и твердой (почвы и грунты).

В частности, наиболее опасно загрязнение воздуха сернистым ангидридом и сероводородом, что происходит главным образом в результате сжигания местных сортов нефти, в которой содержится 4–5 % примеси серы.

Заводы по производству удобрений — мочевины, нитрата аммония и тройного суперфосфата выбрасывают соединения аммония и азота, которые попадают в воздух и смешиваются с атмосферной влагой. Положение усугубляется попаданием в атмосферу больших количеств окиси углерода при работе котельных, также от автомобильных выхлопов, массы мелких мастерских и других техногенных объектов.

Другим фактором, угнетающе воздействующим на живую природу, является загрязнение воды в реках и других водоемах в результате сброса неочищенных бытовых и промышленных отходов.

Загрязнение проникает и в подземные источники воды, которые ныне используются для промышленных целей. Использование речной воды для полива без предварительной ее очистки может привести со временем не только к накоплению в почве вредоносных элементов, но также к спеканию почв, что затрудняет доступ в нее кислорода из-за образования корки и гибели корневой системы растений.

Загрязнение рек осуществляется массивными промышленными стоками, которые включают вредоносные компоненты — технические масла, красители, химические соединения, органические элементы, неорганические соли. Негативную роль играют также канализационные сети, врезанные в русла рек.

Актуальность контроля окружающей среды

Вопрос аналитического контроля окружающей среды остается актуальным в современном мире в силу усиливающего экологического давления. Особенно это относится к странам, на территории которых проводились или проводятся боевые действия.

Экологический контроль, как правило, осуществляется в лабораториях, оснащенных стационарным и современным оборудованием, обе-

спечивающим полноту анализа. Однако лабораторный контроль сопряжен с рядом объективных трудностей.

Прежде всего, это отбор, доставка и хранение проб. Также для проведения ряда аналитических операций требуются расходные материалы для реализации аналитических работ в соответствии с методическим обеспечением. Высокая стоимость оборудования не позволяет формировать лаборатории в непосредственной близости от загрязненных территорий. И, наконец, для работы с лабораторным оборудованием требуется персонал высокой квалификации.

В качестве альтернативы аналитическим лабораториям начинают активно развиваться передвижные посты, оснащенные стационарными приборами. Подвижные лаборатории разработаны для войск РХБ защиты для решения задач химразведки, однако широкого распространения в настоящее время не получили [1, 2].

Существующие переносные приборы не охватывают круг задач экологического контроля. Поэтому разработка приборов полевого контроля без применения расходных материалов, с максимальным уровнем автоматизации для решения широкого круга задач, относящихся, как к экологическому контролю, так к химической разведки, актуально.

ОЕМ-решения приборов аналитического контроля

Исследования, проведенные специалистами Академии, показывают, что наиболее полное соответствие для полевого применения имеют аналитические устройства, выполненные в формате OEM (ОЕМ-системы требуют только подключения питания и интерфейсной линии коммутации в сетевые (командные) устройства) [3].

Комплексный контроль экологических параметров среды включает в себя определение качества воздуха, воды, почв и грунтов по интегральным и дифференциальным признакам. К интегральным признакам относят общее состояние объектов контроля: неопасно, опасно, формируя спектральный образ анализируемой среды. К дифференциальным признакам следует отнести вещества в концентрациях, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [4].

Многоканальный газоанализатор

В результате экспериментов разработан многоканальный газоанализатор с детектором, построенном на основе полупроводниковых газочувствительных сенсорах, изготавливаемых по модифицированной толстопленочной технологии (рис. 1), в которой вместо традиционного одиночного размещения сенсоров в корпусе, впервые применен мультисенсорный носитель, позволяющий разместить сразу четыре автономных сенсора, что значительно снижает массогабаритные характеристики и повышает функциональные возможности.

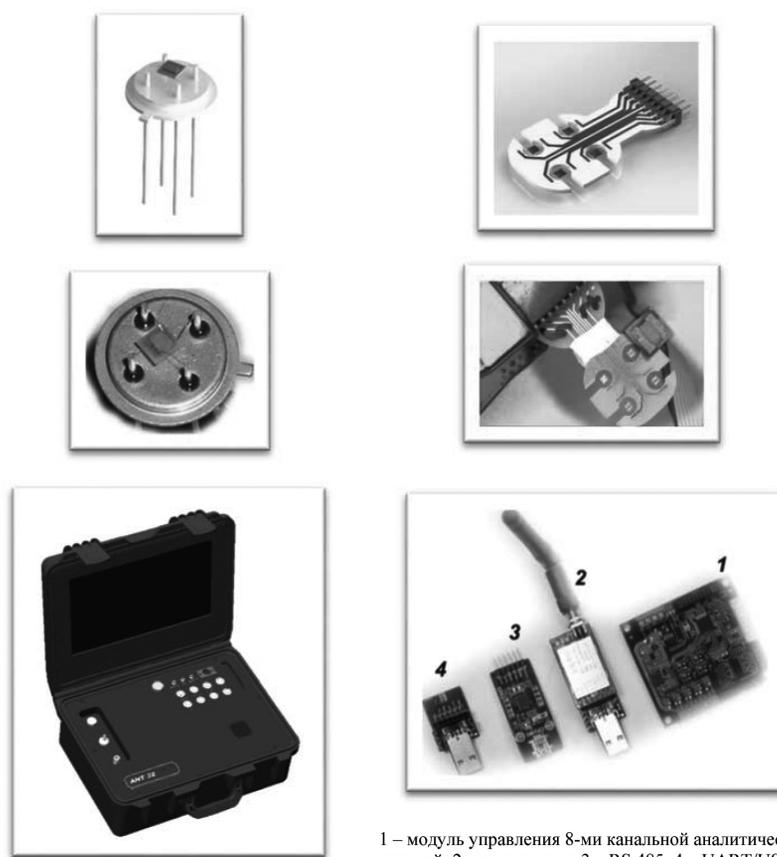
На основании исследований определения степени зараженности воды, почв и грунтов разработаны устройства отбора проб, позволяющие анализировать уровень качества объектов контроля [9].

Для решения экологических задач в Сирийской Арабской Республике (САР) изготовлен, разработанный на кафедре систем жизне-

обеспечения объектов военной инфраструктуры Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения 32-х канальный анализатор, позволяющий проводить обнаружение в воздухе, воде, а также в пробах почв и грунтов, отобранных с различных территорий [14] отравляющих и ядовитых веществ. Следует отметить, что прибор позволяет проводить работы непосредственно в местах заражения. Перечень веществ-аналитов приведен в табл. 1.

Программное обеспечение, разработанное для применения анализатора в условиях САР, имеет два режима работы: режим «Оператор» и режим «Эксперт». Программа «Оператор» позволяет в автоматическом режиме обнаруживать и рассчитывать концентрации веществ-аналитов как в групповом режиме, так и индивидуально.

Пробоотборное устройство обеспечивает обнаружение веществ-аналитов не только в воздухе, но и в водах, грунтах и почвах, отобранных



1 – модуль управления 8-ми канальной аналитической системой; 2 – радиоканал; 3 – RS 485; 4 – UART/USB 2.0

Рис. 1. Размещение сенсоров, аналитические модули и экспериментальный газоанализатор

Перечень целевых веществ, обнаруживаемых моделью АНТЗ2

№ Группы аналитов	Название группы	Шифр	Аналит	Диапазон концентраций, мг/м ³
1	Ароматические углеводороды	AROMA	Бензол Толуол Ксилол	10 ⁻² — 100 и выше
2	Промышленные выбросы	TRASH	SO ₂ H ₂ S CH ₃ SH CO CO ₂	10 ⁻¹ — 100 и выше
3	Топлива	FUEL	НДМГ Бензины Дизтоплива	10 ⁻¹ — 100 и выше
4	Активные окислители	OXI	Фенол Хлор Диоксид азота	10 ⁻¹ — 100 и выше



Рис. 2. Проведение аналитических работ оператором

с зараженных территорий. На рис. 2 показана работа операторов, проводящих контроль загрязнителей в отобранных пробах [5, 8, 9, 14, 18].

В связи с тем, что обеспечение безопасности авиабазы «Хмеймим» ложится на подразделения МТО ВС РФ [20], повышение уровня защиты объектов связано, прежде всего, с аналитическим контролем, обеспечивающим полноту информации о состоянии окружающей среды, тем самым снижающим уровень химической опасности. При этом необходим контроль не только воздуха, но и грунтов, а также грунтовых вод и водных растворов [6].

В связи с этим, проведена опытная эксплуатация в период с 20 июля 2020 года по 10 октября 2020 года в лаборатории на специально созданном рабочем месте, а также на различных

территориях авиабазы «Хмеймим». Анализ воздушной среды осуществлен непосредственно на открытых территориях.

Разработанный на кафедре систем жизнеобеспечения объектов военной инфраструктуры Военного института (инженерно-технического) анализатор позволяет контролировать в окружающей среде только вещества, растворенные в воде и водных растворах, адсорбированные поллютанты в почвах и грунтах, а также в воздухе по веществам, приведенным в табл. 1.

Аналитическая система, контролирующая другие параметры, характерные для окружающей среды (электрохимические параметры воды и водных растворов, элементный состав вод и грунтов, мутность, цветность, поглощенное γ -излучение и изотопный состав) в настоящее

время находится в разработке — проработаны соответствующие OEM-решения и методики их интеграции, проведены расширенные лабораторные эксперименты. Также система аналитического контроля испытана в 33 ЦНИИ МО РФ по обнаружению отравляющих веществ в воздухе и растворенных в водных растворах.

**Обнаружение загрязняющих веществ.
Обнаружение в воздухе**

Физический принцип обнаружения примесей загрязняющих (и других) веществ в воздухе — измерение потенциала в цепи сенсора при изменении электропроводности вследствие хемосорбции молекул веществ загрязнителей из газовой фазы. Так как чувствительность полупроводникового материала высокая, то сенсор детектирует молекулы широкого класса, поэтому применение мультисенсорных систем решает, пожалуй, наиболее сложную задачу — селективность. Так как управляемый диапазон нагревания поверхности сенсора по мощности, подаваемой на нагревательный элемент, составляет от 50 до 800 мВт, то высокая селективность достигается формированием системы, состоящей из различных сенсоров, работающих при разных мощностях нагрева. При нагревании чувствительного слоя, запрещенная зона изменяет энергию в соответствии с температурой. При этом изменяется сила тока в зоне проводимости с переменной градиента движения молекул в приповерхностном слое (рис. 3).

После операции обнаружения вещества проводится определение его типа — идентификация. Идентификация проводится в два этапа:



Изменение зоны проводимости при нагревании сенсора

– первый этап выделяет примеси веществ с некоторой вероятностью методом парной корреляции;

– второй этап уточнение результата идентификации методом множественной корреляции.

Корреляционные соотношения обусловлены типом сенсора (составом его чувствительного слоя) и изменением мощности нагрева сенсоров при постоянной внешней среде и внешними изменениями среды при постоянной мощности нагрева каждого канала [6, 7, 8].

Результаты измерений обрабатываются методом расчетов I и II статистического момента и свертки II статистического момента с его полным дифференциалом. Следует отметить, что все вычисления проводятся в реальном масштабе времени [7, 9]. По расчетам свертки для каждого канала мультисенсорной системы формируется аппаратный спектр, соответствующий составу анализируемого воздуха.

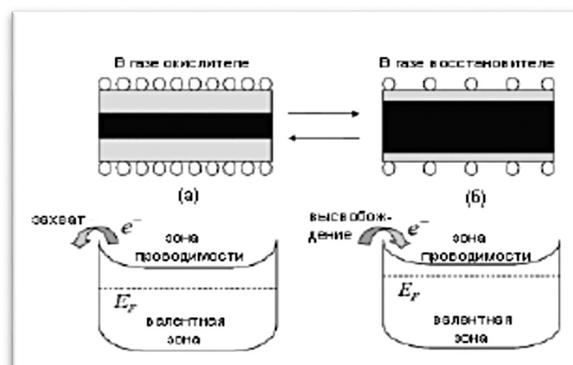
Полученный спектр преобразуется из дискретной в нормальную форму с помощью преобразований вида,

$$\frac{[A_i - \langle A_i \rangle]^2}{\langle A_i \rangle^2},$$

где A_i — амплитуда спектра по каждому каналу i , равная,

$$\frac{\sum_{i=0}^T (Z \otimes dZ)^2}{\omega T},$$

здесь Z — второй статистический момент; dZ — полный дифференциал; ω — частота дискре-



Захват и освобождение электронов при контакте с газами донорами и акцепторами

Рис. 3. Физический принцип действия полупроводникового сенсора

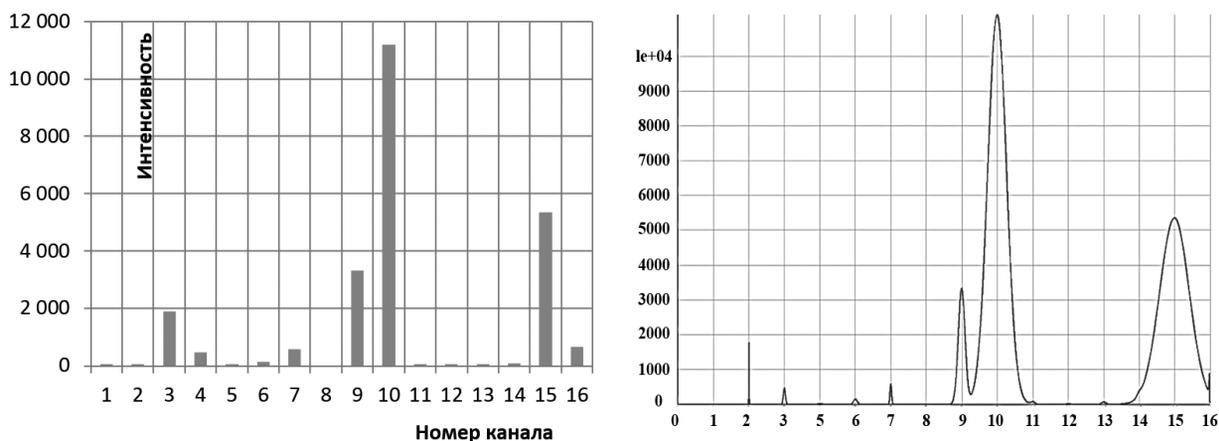


Рис. 4. Дискретный и нормальный спектр сероводорода

тизации; T — время экспозиции; t — текущее время измерений. На рис. 4 показано сравнение дискретного и нормального спектра для измеренного целевого вещества.

Для проведения идентификации большое значение имеет объем базового массива опорных спектров, по количеству превышающим число заданных веществ-аналитов. Чем выше емкость спектральной базы данных, тем выше достоверность идентификации веществ. В настоящее время проводятся работы по расширению базы и коррекция ее структуры. Для целевых веществ в рамках опытной эксплуатации на территории САР база данных включает вещества, приведенные в табл. 1 и дополнительно вещества, постоянно присутствующие в атмосфере, так называемый атмосферный фон.

Обнаружение в воде и в водных растворах

Обнаружение веществ в воде проводится с помощью газоанализатора по принципу аналитического контроля насыщенных паров, образованных над поверхностью водной или твердой фазы [1, 9, 13].

С помощью газоаналитической системы определяется наличие и параметры паров, образованных над поверхностью исследуемого объема в результате переноса молекул из раствора в газовую фазу с парциальным давлением, зависящим от температуры и молекулярной массы.

Давление насыщенного пара при заданной температуре рассчитывается по уравнению Антуана. Процесс испарения зависит от интенсив-

ности теплового движения молекул в объеме отобранной водной среды. Также факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней диффузии целевого вещества из воды, химические свойства и концентрация растворенной примеси.

Давление насыщенного пара P^s над раствором, ограниченным регулярной поверхностью, является фундаментальной характеристикой равновесного состояния системы жидкость — пар, как для однокомпонентных, так и для сложных, многокомпонентных смесей [1].

Основу метода контроля водной среды составляет уравнение Ленгмюра [8], выведенное на основе молекулярно-кинетической теории испарения вещества с открытой регулярной поверхности:

$$\frac{dm_i}{dt} = -\alpha P_i^s S_V \sqrt{\frac{RT}{2\pi M_i^2}},$$

где $\frac{dm_i}{dt}$ — скорость испарения i -го целевого вещества; α — коэффициент испарения i -го вещества; P^s — давление насыщенного пара; M_i — молярная масса i -го целевого вещества; T — температура среды; R — универсальная газовая постоянная.

Для практического применения уравнения Ленгмюра требуется определение коэффициентов испарения, которое проводится по эталонным веществам. Фоке [9, 10] предложил метод расчета коэффициента испарения через диффузию вещества из раствора при постоянной температуре:

$$\alpha = \frac{D}{x_0} \sqrt{\frac{2\pi M}{RT}},$$

где D — коэффициент диффузии целевого вещества; x_0 — расстояние, на которое диффундируют молекулы вещества. Коэффициент диффузии определяют следующим образом: если к моменту времени $t_k = k\Delta t$, $k \in R$ диффундируемая молекула из жидкой фазы окажется смещенной от поверхности в точку с радиусом-вектором $r(t_k)$. Квадрат смещения частицы за это время выразится как:

$$D_r(t) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \Delta r_i \Delta r_j + \sum_{i=1}^k \Delta r_i^2.$$

Для жидкости Δr_i^2 можно считать равным среднему квадрату скачка молекул δ^2 , а число скачков g за время t_k равным gt_k , тогда $2 < D_{r^2} \cdot t > g\delta^2$. Принимая $g\delta^2$ за предельную высоту свободного объема газовой фазы x_0 , получим среднее значение коэффициента диффузии:

$$\bar{D} = \frac{x_0^2}{2t}.$$

В результате получим:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{P^s}{2x_0 t} \sqrt{\frac{1}{M}}.$$

Интегрирую (4) по t , концентрация насыщенного пара над поверхностью воды для вещества с молекулярной массой M и давлением насыщенного пара P^s составит:

$$C = -\frac{1}{x_0} \frac{P^s}{2\sqrt{M}} \ln(t + \delta t), \delta t > 0.$$

Таким образом, концентрация насыщенного пара зависит от молекулярной массы вещества, температуры раствора, времени диффузии и длины свободного пробега молекулы, усредненной по всему объему. Знак минус относится к диффузии молекул из водной среды в измеряемый объем.

Для низких концентраций растворенного вещества, уравнение связи с высокой точностью имеет вид:

$$C_{f,i} = a_i \langle Z(t) \rangle_i \frac{\ln t}{x_0 \sqrt{M}} e^{(A_i - \frac{B_i}{K_i + T_p})},$$

в котором $\langle Z(t) \rangle_i$ — измеряемая величина, a_i — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов по массиву калибровочных парогазовых проб (например, ИМП или газовых баллонов).

Эксперименты проведены по обнаружению токсичных (целевых) веществ класса сложных органофосфатов (КСО), тиоэфиров (ТЭ), эфира метилфторфосфоновой кислоты (ЭМФК) и цианистого натрия (NaCN), растворенных в воде. Сравнительные измерения контрольных проб проанализированы дополнительно методом биохимического анализа. Результаты измерений целевых веществ, сравнение концентраций и относительные погрешности приведены в табл. 2. Измерения проведены в нормальных климатических условиях.

В табл. 2 приведены средние значения, рассчитанные по количеству проведенных измерений, относительная погрешность рассчитана по средним значениям относительно от исходных концентраций.

Обнаружение паров и газов в почвах и грунтах

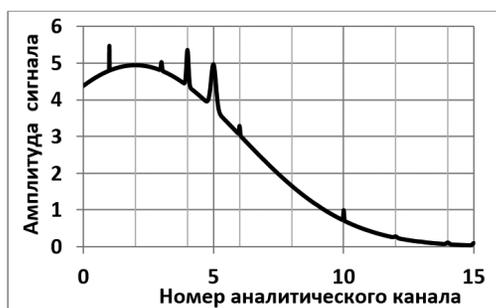
Для контроля окружающей среды наиболее полно подходят аналитические устройства, построенные на основе газоаналитических сенсоров, сформированные в мультисенсорные системы [10]. Проведенные исследования [1, 11], показывают, что многоканальные системы, позволяют контролировать эманацию примесей загрязняющих веществ не только из водных растворов, но и из грунтов.

Для заражения навески грунта раствором загрязняющего вещества (в качестве загрязнителя использован 1 % раствор НДМГ) определен фон, образованный испарениями из чистого грунта. Условия измерения паров НДМГ выдержаны на протяжении всего эксперимента.

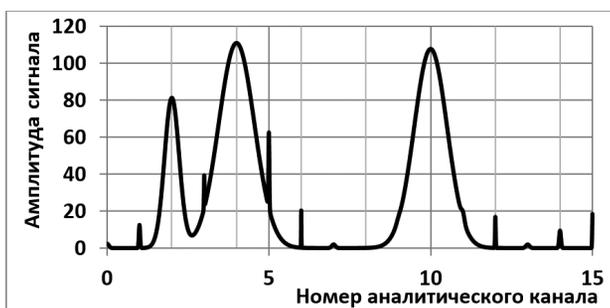
На рис. 5 приведен спектр воздуха, отобранного из емкости с незараженным грунтом и спектр зараженного грунта. Спектр сформирован по усредненным значениям свертки с учетом взаимного влияния аналитических каналов

Результаты определения целевых веществ в водных растворах газоаналитическим методом

№ п.п.	Целевое вещество	Исходная концентрация целевых веществ в водном растворе, мг/л	Измеренная концентрация, мг/л	Количество измерений	Относительная погрешность
1	КСО	6,00	7,12	19	18,6 %
2	ЭМФК	8,00	8,75	19	12,5 %
3	ТЭ	3,00	1,32	15	28,2 %
4	NaCN	10,00	11,31	17	21,8 %
5	КСО	5,00	5,75	15	12,5 %
6	ЭМФК	9,5	8,88	15	10,3 %
7	NaCN	10,00	11,45	11	24,1 %
Разбавление исходных растворов					
8	КСО — 1/10	0,6	0,46	11	23,3 %
9	КСО — 1/100	0,07	0,038	11	49,3 %
10	КСО — 1/1000	0,006	0,0037	11	43,3 %
11	КСО — 1/10000	0,0007	0,00037	11	47,5 %
12	ЭМФК — 1/10	0,8	0,76	15	5,0 %
13	ЭМФК — 1/100	0,08	0,081	15	1,3 %
14	ЭМФК — 1/1000	0,0011	0,00085	15	19,0 %
15	ЭМФК — 1/10000	0,0009	0,00078	15	13,3 %



а



б

Рис. 5. а — спектр воздушного фона в емкости с незараженным грунтом; б — спектр зараженного грунта

(установленных сенсоров), рассчитанного по формуле $\frac{[A_i - \langle A_i \rangle]^2}{\langle A_i \rangle^2}$ [8, 9].

Идентификация спектров проведена по спектрам, содержащихся в базе данных, корреляционным методом. Коэффициенты корреляции выборочных спектров в течение времени эманации с базовым спектром приведены в табл. 3.

Идентификация вещества, входящего в состав насыщенного пара, образованной водной вытяжкой, проведена с помощью расчета коэффициентов корреляции спектров, полученных при анализе грунта и водного раствора [9].

Матрица корреляций приведена в табл. 4. Усредненный коэффициент корреляции по всем идентифицированным спектрам составляет 0,96.

Таким образом, газоаналитические измерения позволяют провести контроль по целевому веществу, в данном случае, по НДМГ, как в воздушной среде, так и в других средах — грунтах и водных растворах с высокой селективностью.

Результаты опытной эксплуатации

Опытная эксплуатация экспериментального образца газоанализатора проведена в следующих климатических условиях:

Таблица 3

Корреляционная матрица для НДМГ по сравнению с базовым спектром

	Air	G0	G1	G2	G3	G4
Air	1,00					
G0	0,31	1,00				
G1	0,32	0,89	1,00			
G2	0,29	0,96	0,89	1,00		
G3	0,31	0,91	0,78	0,81	1,00	
G4	0,23	0,85	0,89	0,79	0,95	1,00

Таблица 4

Корреляционная матрица спектров водных растворов относительно базы данных

	G0	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
G0	1,00							
W1	0,99	1,00						
W2	0,97	0,97	1,00					
W3	0,95	0,96	1,00	1,00				
W4	0,91	0,91	0,98	0,99	1,00			
W5	0,85	0,84	0,94	0,96	0,99	1,00		
W6	0,88	0,87	0,96	0,97	0,99	1,00	1,00	
W7	0,85	0,84	0,94	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00

- температура воздуха, °С — 35±10;
- относительная влажность, % — от 15 до 80%;
- атмосферное давление, кПа — от 84 до 106,7; (мм рт. ст.) — от 630 до 800.

Механические воздействия, внешние электрические и магнитные поля, влияющие на работу изделия, не обнаружены.

В результате опытной эксплуатации обследованы пробы воздуха в районе территории авиабазы «Хмеймим», пробы грунта, отобранные с различных участков авиабазы и отдельных проб вод, как природных, так и из питьевых запасов.

При измерениях воздуха обнаружены «атмосферные газы», относящиеся к окислителям и промышленным выбросам в концентрациях значительно ниже ПДК (менее 10⁻² мг/м³). Другие поллютанты, отмеченные в табл. 1, не обнаружены.

В пробах отобранных грунтов, напротив, обнаружены следовые концентрации фенола и других ароматических углеводородов. Компоненты ракетных топлив (НДМГ и NO₂) не обнаружены. Также не обнаружены неорганиче-

ские вещества, относящиеся к промышленным выбросам. В то же время, в грунтах найден хлор и метилмеркаптан не природного происхождения.

Учитывая наличие транспортных средств, на территории авиабазы обнаружены следы дизельного и бензинового топлив в концентрациях на уровне предельно допустимой концентрации (ПДК).

В результате опытной эксплуатации анализатора проведена оценка контроля окружающей среды по веществам, входящих в рабочую базу целевых веществ, также получены значения концентраций загрязнителей. Уровни опасности и концентрации целевых веществ адекватно соответствует параметрам обнаруженных примесей. Интерфейс оператора понятный и удобен в работе.

В результате опытной эксплуатации выяснено, что необходимо оптимизировать внешнее пробоотборное устройство для повышения достоверности аналитических измерений. Также необходимо предусмотреть возможность формирования протокола измерений с указанием даты, наименования обнаруженного вещества, его концентрации и уровня опасности.

Целесообразно расширить базу данных обнаруживаемых веществ для повышения качества проведения экологического контроля.

Обсуждение результатов

В настоящей работе показан метод, который позволяет проводить комплексный аналитический контроль загрязняющих веществ в воздухе, грунтах, воде и водных растворах. Предложенное схемотехническое решение и сборки полупроводниковых газочувствительных сенсоров, позволяют без изменения конструкции, исследовать окружающую среду, как по локальным загрязнениям, так и распределенным по обширным территориям. Отсутствие процедуры подготовки проб для анализа значительно повышает эффективность контроля и возможность полевого применения.

Учитывая единое решение по контролю различных сред (воздух, грунт, вода) и возможность управления контрольным перечнем веществ без замены первичных преобразователей [9, 10], предложенная газоаналитическая схема позволяет создать информационную сеть мониторинга среды по сложным смесям различного состава.

Целесообразно продолжить исследования по времени выхода загрязнителей из грунтов с целью определения времени равновесия грунта с воздушной средой, то есть определить максимальный выход загрязнителя и его оставшуюся концентрацию.

Заключение

Сирия стоит перед двумя проблемами в области охраны окружающей среды. С одной стороны, рост промышленной активности создает все новые трудности в поддержании адекватного экологического баланса, особенно в условиях, когда игнорируется возведение очистных сооружений, которые не рассматриваются в качестве необходимой части производственной инфраструктуры. С другой стороны, растущая урбанизация также вносит свой вклад в повышение экологической напряженности.

В целом Сирия сейчас делает первые шаги в области урегулирования одной из важнейших для современного общества проблем — охраны окружающей среды. Тем самым государство ре-

ализует свое право собственности на природные ресурсы, используя для этого вновь созданные институты, строя соответствующие природосберегающие структуры, мобилизуя внутренние и внешние возможности для преодоления негативных последствий антропогенной деятельности.

Проведенные исследования позволяют сформировать подходы к разработке средств контроля выявления химической обстановки в области водозабора, так и содержания растворенных токсичных химикатов в поверхностных источниках воды.

Применение в газоанализаторах для обнаружения токсичных примесей в водной среде полупроводниковых адсорбционных сенсоров резистивного типа позволит разрабатывать автоматические технические средства непрерывного контроля качества окружающей среды.

Очевидны преимущества применяемых первичных преобразователей — полупроводниковых сенсоров. Разработанные схемотехническое решение, алгоритм управления и обработки в комплексе с мультисенсорными системами, сформированными из полупроводниковых газочувствительных элементов, позволяют, прежде всего, достичь необходимой селективности, высокой чувствительности и стабильности индикаторных эффектов.

Следует особо отметить, что предложенный метод контроля не требует применения расходных материалов при проведении как локальных, так и скрининговых измерений.

Литература

1. Лаборатория переносная для водоочистных станций (ПЛВС). Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст]. — М.: Воениздат. 1980. 168 с/
2. Индикаторный билет. Nerve agent vapour detector ticket. NSN 6665-22-258-4197.
3. Brletich N.R., Waters M.J., Bowen G.W., Tracy M.F. Worldwide Chemical Detection Equipment Handbook / Chemical and Biological Defence Information Center. October. 1995. P. 105–438.
4. Набор для анализа воды. Источник: <https://vodakanazer.ru/vodopodgotovka/analiz-vody/analiz-vody-v-domashnix-usloviyax.html#i-2>
5. Эль-Салим С.З., Клещенко Р.В. Кинетика адсорбции S-O радикалов на поверхности диок-

сида олова // Журнал химической физики. 2007. № 3. С. 42–50.

6. Langmuir I. The Vapor pressure of metallic tungsten // *Physical Review*. 1913. V. 2. N 5. P. 329–342. doi: 10.1103/PhysRev.2.329

7. Насыщенный пар // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия. 1969–1978.

8. Carlsen Lars, Kenesova O. A., Batyrbekova S.E. A preliminary assessment of the potential environmental and human health impact of unsymmetrical dimethylhydrazine as a result of space activities // *Chemosphere*. 2007. V. 67. Is. 6. P. 1108–1116.

9. Саркисов С.В., Эль-Салим С.З., Никонов В.С., Игнатьев А.А. Метод контроля токсичных химикатов в водных растворах по газоаналитическим измерениям концентрации насыщенного пара растворенных веществ // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. 7–8 (145–146). С. 82–89.

10. Саркисов С.В., Путилин П.А., Эль-Салим С.З., Никонов В.С., Гжибовский Н.Э., Игнатьев А.А. Контроль КРТ на объектах инфра-

структуры МТО ВС РФ // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № 11 (12). С. 229–241.

11. Никонов В.С., Игнатьев А.А., Саркисов С.В., Гжибовский Н.Э., Эль-Салим С.З. Комплексное определение несимметричного диметилгидразина в окружающей среде // Экологические системы и приборы. 2020. № 10. С. 30–38.

12. Коновалов В.Б., Саркисов С.В., Эль-Салим С.З. Корреляционный метод идентификации вещества // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 2 (14). С. 9–21

13. Коновалов В.Б., Саркисов С.В., Игнатьев А.А., Эль-Салим С.З. Автоматическая система аналитического контроля качества воды для объектов ВС РФ // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 1 (13). С. 201–211.

14. Коновалов В.Б., Ивановский В.С., Саркисов С.В. Симпозиум и другие направления сотрудничества Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения с Российской академией ракетных и артиллерийских наук // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2019. № 3 (108). С. 146–152.