



ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАСЕЙНА РЕКИ ВОЛГИ ФЕНОЛОМ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫМИ

¹А.В. Танеева, ¹А.В. Юсупова, ¹А.В. Павлов, ¹В.Ф. Новиков

¹Казанский государственный энергетический университет

Приведены результаты газо-хроматографического контроля содержания фенола и его производных в поверхностных водах бассейна р. Волги. Выполнена оценка качества воды исследуемого водоема по категориям загрязнения в различные времена года. Рассмотрены результаты экологического мониторинга поверхностных вод бассейна р. Волги с учетом трансформации фенолов в более токсичные соединения.

Ключевые слова: фенолы, поверхностные воды, хроматография, водоемы, экологический мониторинг, загрязнение

Статья поступила в редакцию 20.11.2023, доработана 04.12.2023, принята к публикации 15.01.2024

Ecological Monitoring of Pollution of Surface Waters of the Volga River Basin with Phenol and its Derivatives

¹A.V. Taneeva, ¹A.V. Pavlov, ¹A.V. Dmitrieva, ¹V.F. Novikov

¹Kazan Power Engineering University, 420066 Kazan, Russia

The results of gas chromatographic control of the content of phenol and its derivatives in the surface waters of the Volga River basin are presented. The assessment of the water quality of the studied reservoir by categories of pollution at different times of the year was carried out. The results of environmental monitoring of the surface waters of the Volga River basin, taking into account the transformation of phenols into more toxic compounds, are discussed.

Keywords: phenols, surface waters, chromatography, reservoir, environmental monitoring, pollution

Received 20.11.2023, revised 04.12.2023, accepted for publication 15.01.2024

DOI: 10.18412/1816-0395-2024-5-48-53

Республика Татарстан — один из наиболее развитых в промышленном отношении регионов Российской Федерации, крупные промышленные города которого расположены по берегам Куйбышевского водохранилища и бассейна р. Волги и через очистные сооружения сбрасывают сточные воды в речную систему. Для обеспечения экологической безопасности поверхностных вод в республике Татарстан действуют долгосрочные целевые программы, направленные на эффективное решение природоохранных мероприятий [1].

При этом организовано регулярное наблюдение за степенью загрязнения поверхностных вод более чем в 70 пунктах по гидрохимическим показателям на 37 водных объектах. Кроме того, проводится эколого-аналитический контроль в зоне выпуска сточных вод промышленных предприятий более чем в 130 точках на 60 водных объектах [1, 2].

К одним из наиболее широко распространенных загрязнителей поверхностных вод относятся фенолы, которые попадают в водные объекты со сточными водами промышленных

предприятий, а также в результате биохимических процессов, которые связаны с деструкцией природных растительных материалов и твердых отходов [3, 4].

Для определения концентрации примесей фенолов широко используются хроматографические методы анализа с использованием различных по чувствительности детекторов. Для анализа фенолов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии применяют спектрофотометрическое детектирование [5–6] и газожидкостную хроматографию с использованием различных по

чувствительности детекторов [7]. При этом большое значение отводится системе пробоподготовки для проведения хроматографического анализа [8], в том числе и с использованием магнитных сорбентов [9], а также арсенированных производных [10].

Проблема определения фенолов в поверхностных и сточных водах заключается в том, что они характеризуются высокой реакционной способностью, что обычно приводит к их деструкции под влиянием различных факторов. Так, например, под действием ультрафиолетового излучения фенол может разлагаться вследствие прямого фотолиза молекулы и "атаки" её гидроксильными радикалами, которые образуются при поглощении ультрафиолетового излучения молекулами пероксида водорода. Установлено, что степень разложения фенола пропорционально зависит от дозы ультрафиолетового излучения, а рост концентрации пероксида водорода приводит к ускорению реакции разложения фенола [11]. Фенол также может разлагаться под воздействием аэробных микроорганизмов в стадии биологической очистки сточных вод [12].

Фенол и его производные относятся к токсичным для организма человека и природной экосистемы соединениям и их содержание в водной среде необходимо контролировать. В этой связи основная цель работы заключается в исследовании содержания фенола и его производных в водной среде и донных отложениях бассейна р. Волги с оценкой степени загрязнения окружающей природной среды для обеспечения безопасности водных объектов.

Материалы и методы

Для проведения экспериментальную часть работы проводили на хроматографе Кристаллюкс-4000М с насадочными колонками, заполненными различными сорбентами. Определение малых

Таблица 1. Физико-химические и экологические свойства фенола и его производных

Table 1. Physicochemical and ecological properties of phenol and its derivatives

Фенолы	Структура	$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{пл}}$	μ	n_D^{20}	ПДК, мг/л	Класс опасности
		°C					
орто-Хлорфенол		174,9	7,0	1,31	1,5473	0,001	1
Фенол		182,0	41,0	1,40	1,5425	0,001	2
орто-Крезол		190,9	30,9	1,41	1,5453	0,003	2
пара-Крезол		202,5	36,0	1,57	1,5359	0,004	2
мета-Крезол		202,8	10,9	1,54	1,5438	0,004	2
мета-Хлорфенол		214,0	32,8	2,10	1,5568	0,001	4
пара-Хлорфенол		217,0	43,0	2,22	1,5579	0,001	4

Примечание. $T_{\text{кип}}$ – температура кипения, °C; $T_{\text{пл}}$ – температура плавления, °C; μ – дипольный момент; n_D^{20} – показатель преломления; ПДК – предельно-допустимая концентрация.

концентраций фенола и его производных в водной среде проводили с использованием пламенно-ионизационного и термоионного детекторов.

В качестве сорбентов применяли полиоксиэтилен бис арсенат, нанесенный в количестве 5 % массы на твердый инертный носитель Хроматон-Н. Была подобрана оптимальная температура хроматографического разделения фенола и его производных, равная 180 °C, и скорость инертного газа-носителя азота — 23 мл/мин. Длина хроматографической колонки — 2 м, внутренний диаметр 3 мм. При этих условиях проводили хроматографический анализ фенола и его производных. Для определения хроматографических свойств исследуемых фенолов были приготовлены их искусственные смеси, физико-химические и экологические свойства которых приведены в табл. 1.

Количественную интерпретацию полученных экспериментальных результатов проводили методом абсолютной калибровки по площадям хроматографических пиков индивидуальных компонентов фенолов. Пробоподготовку воды для извлечения из неё фенолов выполняли методом бромирования, а фенолы из донных от-

ложений экстрагировали перегонкой с водяным паром в соответствие с методикой, опубликованной в литературе [10].

По результатам хроматографического анализа воды р. Волги в створе у села Шеланга Верхнеуслонского района республики Татарстан проводили комплексную оценку степени её загрязнения фенолами. С этой целью предварительную оценку загрязненности поверхностных вод реки осуществляли с использованием коэффициента комплексности загрязненности воды K [13]

$$K = (n^*/n)100 \%, \quad (1)$$

где n^* — число ингредиентов и показателей качества, содержание которых превышает ПДК; n — общее число нормируемых ингредиентов и показателей качества.

Интегральную оценку качества воды проводили на основе превышения норм ПДК для фенолов и их производных

$$B_i = C_i/\text{ПДК}_i, \quad (2)$$

где B_i — комплексный показатель качества воды; C_i — концентрация i -го ингредиента; ПДК_i — предельно-допустимая концентрация i -го вещества.

Рассчитывали сумму кратностей превышения ПДК по всем ингредиентам, частный оценочный балл и среднее значение кратности превыше-

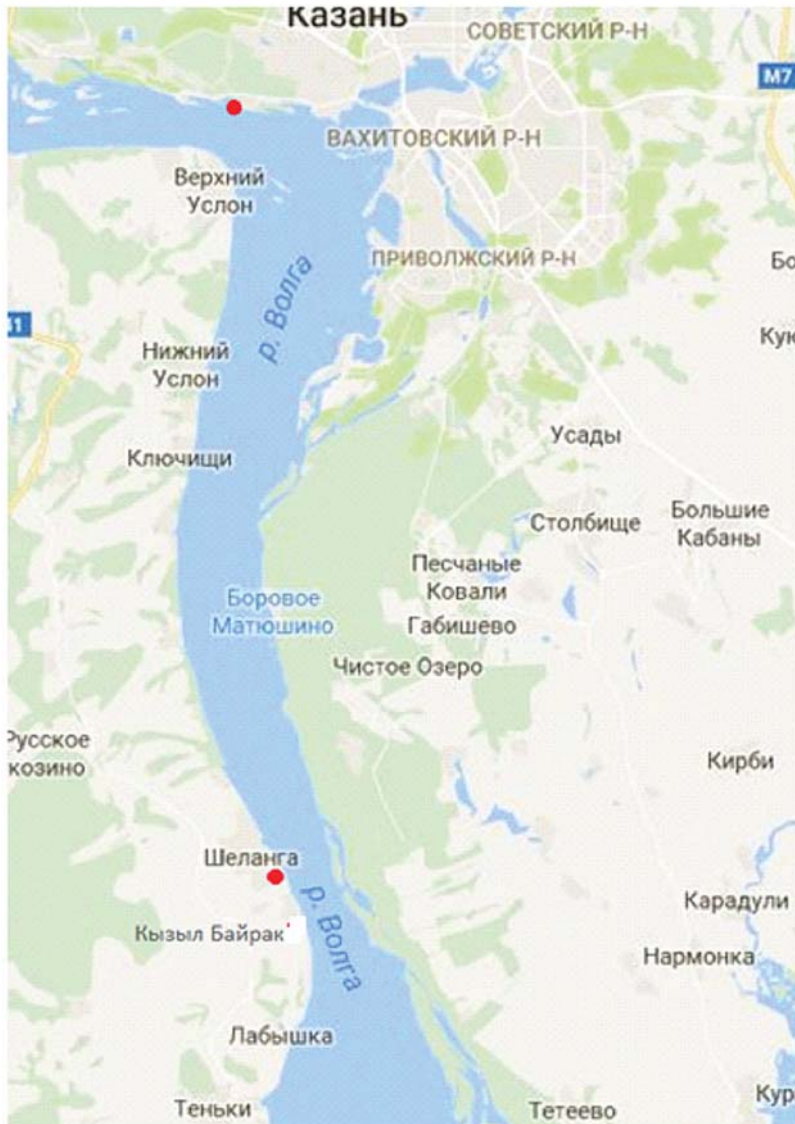


Рис. 1. Фрагмент карты-схемы отбора проб воды и донных отложений с дебаркадера села Шеланга Верхнеуслонского района, Татарстан (правый берег р. Волги)

Fig. 1. Fragment of a map diagram for sampling water and bottom sediments from the landing stage of the village of Shelanga, Verkhneuslonsky district, Tatarstan (right bank of the Volga River)

Таблица 2. Результаты газохроматографического определения содержания фенола и его производных в поверхностных водах и донных отложениях р. Волги

Table 2. Results of gas chromatographic determination of the content of phenol and its derivatives in surface waters and bottom sediments of the Volga River

Фенолы	$T_{кип}, ^\circ\text{C}$	ПрО, мг/л	ПДК, мг/кг	Класс опасности	Концентрация	
					Вода, мг/л	Донные отложения, мг/кг
орто-Хлорфенол	175	0,0015	0,001	1	0,0014	0,0017
Фенол	182	0,0013	0,001	2	0,0008	0,0011
орто-Крезол	191	0,0014	0,003	2	0,0029	0,0033
пара-Крезол	203	0,0022	0,004	2	0,0029	0,0041
мета-Крезол	203	0,0056	0,004	2	0,0028	0,0041
мета-Хлорфенол	214	0,0033	0,001	4	0,0013	0,0015
пара-Хлорфенол	217	0,0022	0,001	4	0,0015	0,0015

ния ПДК по ингредиентам, концентрации которых превышают ПДК по формуле

$$\bar{B}_i = (\sum C_i / \text{ПДК}_i) / N_{\text{прев}}, \quad (3)$$

где \bar{B}_i — среднее значение кратности превышения ПДК; $N_{\text{прев}}$ — число ингредиентов, превышающих ПДК.

Частный оценочный коэффициент определяли по формуле

$$S_{B_i} = B_i \cdot 0,025 + 3. \quad (4)$$

Значения комбинаторного индекса загрязненности воды определяли как сумму обобщенных оценочных баллов по каждому ингредиенту

$$S_A = \sum S_i. \quad (5)$$

Вычисляли удельный комбинаторный индекс загрязненности воды S_A' :

$$S_A' = S_A / i. \quad (6)$$

Для определения содержания фенола и его производных в поверхностных водах и донных отложениях отбирали пробы с дебаркадера (рис. 1).

Оценку погрешности определения концентрации фенолов в водной среде проводили методом "введено — найдено". В 1 л дистиллированной воды было введено 0,10 мг фенола, в результате эксперимента найдено $0,09 \pm 0,0005$ мг с относительным стандартным отклонением 0,049.

Результаты исследования

Результаты газохроматографического определения содержания фенола и его производных в поверхностных водах и донных отложениях р. Волги приведены в табл. 2.

Установлено, что содержание фенола и его производных в воде находится на уровне ПДК, а для некоторых компонентов превышает эти значения. Для донных отложений содержание анализируемых примесей является более существенным, что определяется их высокой сорбционной способностью (рис. 2).

Как видно, для фенола (2) и его производных (4, 5) их содержание в поверхностных водах бассейна р. Волги не превышает нормы ПДК, установленные для рыбохозяйственно-

го использования. В то же время для орто-Хлорфенола, орто-, мета- и пара-Крезолов, а также мета- и пара-Хлорфенолов наблюдается превышение норм ПДК. Особенно опасным для организма человека является превышение норм ПДК для хлорфенолов, которые входят в список основных загрязнителей окружающей среды, так как оказывают негативное влияние на организм человека. Из трех изомеров хлорфенолов особо опасным считается орто-Хлорфенол, который относится к первому классу опасности, и в Российской Федерации его содержание в водах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения и поверхностных водах, имеющих рыбохозяйственное назначение, нормируется. Необходимо отметить, что в водной среде хлорфенолы при конденсации их двух молекул могут образовывать полихлорированные дибензо-п-диоксины непосредственно в условиях городских водопроводных сетей [14].

По результатам газо-хроматографического анализа поверхностных вод и донных отложений в створе правого берега р. Волги в районе поселка Шеланга Верхнеуслонского района республики Татарстан проведена комплексная оценка степени её загрязненности фенолом и его производными. Определен удельный комбинаторный индекс загрязненности воды, который рассчитывали на основе кратности норм ПДК для фенола и его производных в поверхностных водах и донных отложениях [13]. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Установлено, что превышение норм ПДК для фенола и его производных в воде р. Волги наблюдается по трем ингредиентам из семи показателей, а для донных отложений по семи ингредиентам из семи показателей. Значение коэффициента комплексности загрязненности воды составило 43 % для воды и 100 % для донных отложений, что свидетельствует о высокой степени загрязненности.

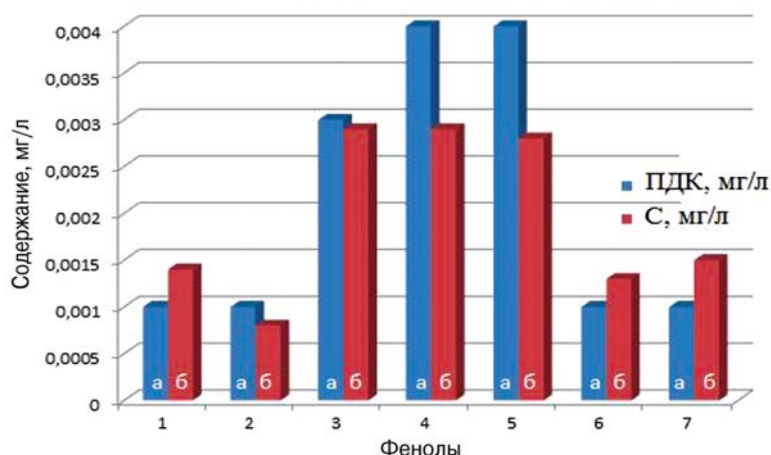


Рис. 2. Содержание фенолов в водной среде (а) и донных отложениях (б) р. Волги по сравнению с их нормами ПДК:

1 – орто-Хлорфенол; 2 – Фенол; 3 – орто-Крезол; 4 – пара-Крезол; 5 – мета-Крезол; 6 – мета-Хлорфенол; 7 – пара-Хлорфенол

Fig. 2. The content of phenols in the aquatic environment (a) and bottom sediments (b) of the Volga River in comparison with their MPC standards:

1 – ortho-Chlorophenol; 2 – Phenol; 3 – ortho-Cresol; 4 – para-Cresol; 5 – meta-Cresol; 6 – meta-Chlorophenol; 7 – para-Chlorophenol

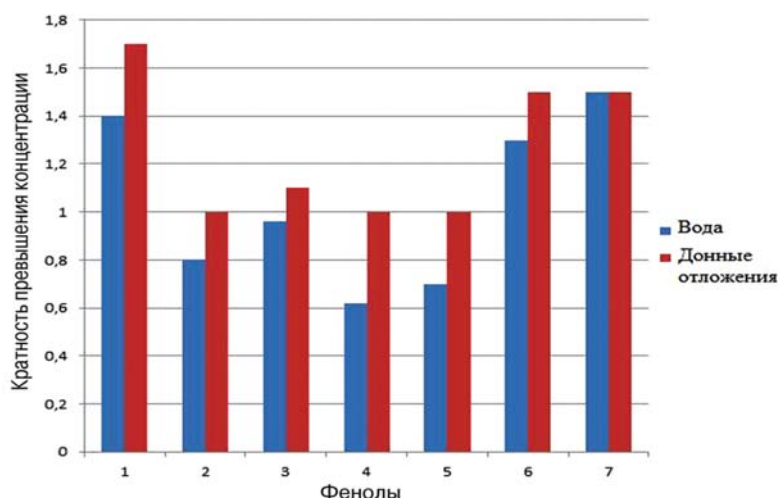


Рис. 3. Кратность превышения концентрации фенолов в водной среде и донных отложениях р. Волги:

1 – орто-Хлорфенол; 2 – Фенол; 3 – орто-Крезол; 4 – пара-Крезол; 5 – мета-Крезол; 6 – мета-Хлорфенол; 7 – пара-Хлорфенол

Fig. 3. The multiplicity of exceeding the concentration of phenols in the aquatic environment and bottom sediments of the Volga River:

1 – ortho-Chlorophenol; 2 – Phenol; 3 – ortho-Cresol; 4 – para-Cresol; 5 – meta-Cresol; 6 – meta-Chlorophenol; 7 – para-Chlorophenol

Таблица 3. Результаты расчетов комплексной оценки степени загрязненности воды фенолами по удельному комбинаторному индексу

Table 2. The results of calculations of a comprehensive assessment of the degree of water pollution with phenols by the specific combinatorial index

Фенолы	Вода			Донные отложения		
	С, мг/л	B_i	S_{B_i}	С, мг/л	B_i	S_{B_i}
о-Хлорфенол	0,0014	1,40	3,03	0,0017	1,7	3,04
Фенол	0,0008	0,8	3,02	0,0011	1	3,025
о-Крезол	0,0029	0,96	3,02	0,0033	1,1	3,26
п-Крезол	0,0025	0,62	3,01	0,0041	1	3,025
м-Крезол	0,0028	0,7	3,01	0,0041	1	3,025
м-Хлорфенол	0,0013	1,3	3,03	0,0015	1,5	3,37
п-Хлорфенол	0,0015	1,5	3,04	0,0015	1,5	3,37

Примечание. Для воды: $B_i = 1,4$; $S_A = 21,16$; $S_A = 3,02$. Для донных отложений: $B_i = 11,71$; $S_A = 23,03$; $S_A = 3,29$.

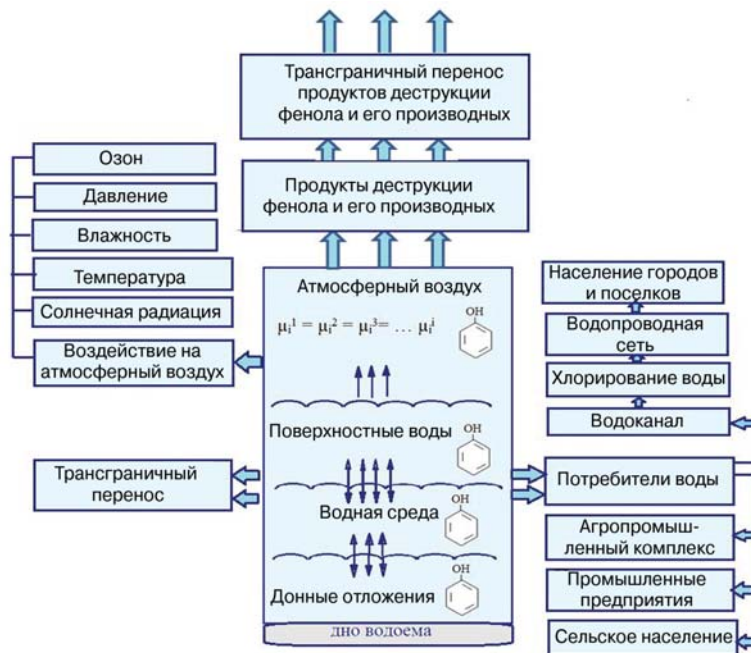


Рис. 4. Модель миграции фенола и его производных в окружающую природную среду

Fig. 4. Model of migration of phenol and its derivatives into the environment

По комбинаторному индексу загрязненности фенолами вода характеризуется как "грязная", а донные отложения — "экстремально грязные".

На рис. 3 приведены результаты кратности превышения ПДК для фенолов в воде и донных отложениях. Видно, что этот показатель для фенолов в случае их наличия в донных отложениях значительно выше по сравнению с поверхностными водами. При этом экстремально высокие значения кратности превышения ПДК характерны для мета-, орто- и пара-Хлорфенолов.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно представить модель миграции фенола и его производных, когда токсичные вещества в результате трансграничного переноса могут мигрировать на большие расстояния, особенно при устойчивой розе ветров (рис. 4).

В соответствии с этой моделью поверхность водных объектов можно рассматривать как систему парофазного распределения между водной и воздушной средой, так как в определенном временном промежутке наблюдается относительно посто-

янная температура и атмосферное давление. В этом случае может быть взаимосвязь между содержанием фенолов в гетерогенной системе "вода — воздух", которая находится в динамическом равновесии. Условием такого равновесного состояния может быть равенство химических потенциалов в этих равновесных фазах: $\mu^1 = \mu^2 = \dots \mu^i$.

При этом между концентрациями каждого компонента соединений фенола в равновесных фазах "вода — воздух" есть определенная зависимость:

$$C_i^1 = f_i^{1,2}(C_i^2), \quad (7)$$

где C_i^1 — концентрация i -го компонента в 1 фазе; C_i^2 — концентрация i -го компонента во 2 фазе; $f_i^{1,2}$ — функция зависимости между концентрациями i -го компонента в воздушной и водной фазе.

Эта зависимость показывает возможность установления состава одной из фаз путем анализа другой фазы. Следует иметь в виду, что значение $f_i^{1,2}$ является функцией состава исследуемых фаз, которые учитывают влияние давления и температуры. В этих условиях наблюдается линейная зависимость между концентрациями фенолов в равновесных фазах:

$$C^1 = kC^2, \quad (8)$$

где C^1 — концентрация в 1-ой фазе; C^2 — концентрация во 2-ой фазе, k — коэффициент распределения.

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что поверхностные воды и донные отложения бассейна р. Волги Куйбышевского водохранилища в акватории города Казани загрязнены фенолом и его производными. Установлено наличие в воде орто-Хлорфенола, который относится к первому классу опасности и в условиях технологического процесса водоподготовки может подвергаться трансформации с образованием более токсичных для организма человека и живой природы дибензо-*p*-диоксинов, которые относятся к категории суперэкоотоксикантов. Предложено в систему экологического мониторинга водных объектов включить также методику контроля содержания не только фенолов, но и его изомеров, которые являются более токсичными для организма человека веществами. Показано, что неучтенная экологическая опасность таких токсичных соединений может привести к риску возникновения заболеваний человека, связанного с экологическим фактором, который трудно спрогнозировать из-за отсутствия оперативной информации о наличии изомеров фенола в водной среде.

На основе проведенных исследований выявлен ассортимент приоритетных загрязнителей водной среды фенолом и его производными, которые подлежат аналитическому контролю в системе экологического мониторинга смежных экосистем. Полученные экспериментальные данные могут служить основой для газо-хроматографического определения индивидуальных компонентов производных фенола, особенно его изомеров и продуктов деструкции, с целью совершенствования системы экологического мониторинга водных объектов.

Литература

1. **Государственный доклад** о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2021 году. Казань, 2022. 414 с. [Электронный ресурс]. URL: https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_3288791.pdf. (дата обращения 20.10.2023).
2. **Шагидулина Р.А., Шагидуллин А.Р.** О системе инструментального и расчетного экологического мониторинга. Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 5. С. 44–46.
3. **Higachi Y.** Simple HPLC–UV Analysis of Phenol and Its Related Compounds in Tap Water after Pre-Column Derivatization with 4-Nitrobenzoyl Chloride. *J. of Analyt. Sci. Methods and instrumentation*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 2164–2753.
4. **Ng N.T., Kamaruddin A.F., Wan Ibrahim W.A., Sanagi M.M., Abdul Keyon A.S.** Advances in organic-inorganic hybrid sorbents for the extraction of organic and inorganic pollutants in different types of food and environmental samples. *J. Sep. Sci.* 2018. Vol. 41(1). P. 195–208. doi: 10.1002/jssc.201700689.
5. **Rodriguez J., Liompart M., Gela R.** Solid-phase extraction of phenols. *J. Chromatogr. A*. 2000. Vol. 885. №1–2. P. 291–304.
6. **Zhang P-P., Shi Z-G., Feng Y-Q.** Determination of phenols in environmental water samples by two-step liquid-phase microextraction coupled with high performance liquid chromatography. *Talanta*. 2011. Vol. 85. № 5. P. 2581–2586.
7. **Груздев И.В., Кондратенко Б.М., Зуева О.В., Лю-Лян-Мин Е.И.** Особенности пробоподготовки при определении фенола в высокоцветных природных водах методом газовой хроматографии. *Аналитика и контроль*. 2019. Т. 23. № 2. С. 229–236.
8. **Борисова Д.Р., Статкус М.А., Цизин Г.И., Золотов Ю.А.** Проточное сорбционно- жидкостно-хроматографическое определение фенолов, включающее концентрирование на углеродном сорбенте и десорбцию сверхкритической водой. *Аналитика и контроль*. 2012. Т. 16. № 3. С. 223–232.
9. **Губин А.С., Суханов П.Т., Кушнир А.Л., Проскурякова Е.Д.** Применение магнитного сорбента на основе наночастиц Fe₃O₄ и сверхшитого полистирола для концентрирования фенолов из водных растворов. *Журнал прикладной химии*. 2018. Т. 91. № 11. С. 1642–1648.
10. **Танеева А.В., Дмитриева А.В., Новиков В.Ф., Ильин В.К.** Газохроматографическое определение фенолов в поверхностных водах с использованием полиоксиэтилен бисарсената. *Аналитика и контроль*. 2020. Т. 24. № 2. С. 22–27.
11. **Гонопольский А.М., Шашковский С.Г., Гольдштейн Я.А., Киреев С.Г., Волосатова А.Д., Кулебякина А.И.** Импульсное фотохимическое разложение фенола в сточных водах. *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 2. С. 22–27.
12. **Казиков Д.А., Вольхин В.В., Боровкова И.С., Попова Н.П.** Повышение скорости биodeградации фенола в условиях усиления массопереноса. *Экология и промышленность России*. 2014. № 9. С. 32–35.
13. **Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям.** Руководящий документ РД 52.24.643-2002. Методический указания. Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 2002. 50 с.
14. **Кунцевич А.Д., Головков В.Ф., Рембовский В.Р.** Дибензо-*p*-диоксины. Методы синтеза, химические свойства и оценка опасности. *Успехи химии*. 1996. Т. 65. № 1. С. 29–41.

References

1. **Gosudarstvennyi doklad** o sostoyanii prirodnikh resursov i ob okhrane okruzhayushchei sredy Respubliki Tatarstan v 2021 godu. Kazan', 2022. 414 s. [Elektronnyi resurs]. URL: https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_3288791.pdf. (data obrashcheniya 20.10.2023).
2. **Shagidullina R.A., Shagidullin A.R.** O sisteme instrumental'nogo i raschetnogo ekologicheskogo monitoringa. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2017. № 5. S. 44–46.
3. **Higachi Y.** Simple HPLC–UV Analysis of Phenol and Its Related Compounds in Tap Water after Pre-Column Derivatization with 4-Nitrobenzoyl Chloride. *J. of Analyt. Sci. Methods and instrumentation*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 2164–2753.
4. **Ng N.T., Kamaruddin A.F., Wan Ibrahim W.A., Sanagi M.M., Abdul Keyon A.S.** Advances in organic-inorganic hybrid sorbents for the extraction of organic and inorganic pollutants in different types of food and environmental samples. *J. Sep. Sci.* 2018. Vol. 41(1). P. 195–208. doi: 10.1002/jssc.201700689.
5. **Rodriguez J., Liompart M., Gela R.** Solid-phase extraction of phenols. *J. Chromatogr. A*. 2000. Vol. 885. №1–2. P. 291–304.
6. **Zhang P-P., Shi Z-G., Feng Y-Q.** Determination of phenols in environmental water samples by two-step liquid-phase microextraction coupled with high performance liquid chromatography. *Talanta*. 2011. Vol. 85. № 5. P. 2581–2586.
7. **Gruzdev I.V., Kondratenok B.M., Zueva O.V., Lyu-Lyan-Min E.I.** Osobennosti probopodgotovki pri opredelenii fenola v vysokotsvetnykh prirodnikh vodakh metodom gazovoi khromatografii. *Analitika i kontrol'*. 2019. T. 23. № 2. S. 229–236.
8. **Borisova D.R., Statkus M.A., Tsizin G.I., Zolotov Yu.A.** Protochnoe sorbtionno- zhidkostno-khromatograficheskoe opredelenie fenolov, vklyuchayushchee kontsentririrovanie na uglerodnom sorbente i desorbtsiyu sverkhkriticheskoi vodoi. *Analitika i kontrol'*. 2012. T. 16. № 3. S. 223–232.
9. **Gubin A.S., Sukhanov P.T., Kushnir A.L., Proskuryakova E.D.** Primenenie magnitnogo sorbenta na osnove nanochastits Fe₃O₄ i sverkhshhitogo polistirola dlya kontsentrirvaniya fenolov iz vodnykh rastvorov. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2018. T. 91. № 11. S. 1642–1648.
10. **Taneeva A.V., Dmitrieva A.V., Novikov V.F., Il'in V.K.** Gazokhromatograficheskoe opredelenie fenolov v poverkhnostnykh vodakh s ispol'zovaniem polioksietilen bisarsenata. *Analitika i kontrol'*. 2020. T. 24. № 2. S. 22–27.
11. **Gonopol'skii A.M., Shashkovskii S.G., Gol'dshtein Ya.A., Kireev S.G., Volosatova A.D., Kulebyakina A.I.** Impul'snoe fotokhimicheskoe razlozhenie fenola v stochnykh vodakh. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2020. T. 24. № 2. S. 22–27.
12. **Kazakov D.A., Vol'khin V.V., Borovkova I.S., Popova N.P.** Povyshenie skorosti biodegradatsii fenola v usloviyakh usileniya massoperenosa. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2014. № 9. S. 32–35.
13. **Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam.** Rukovodyashchii dokument RD 52.24.643-2002. Metodicheskii ukazaniya. Sankt-Peterburg, Gidrometeoizdat, 2002. 50 s.
14. **Kuntsevich A.D., Golovkov V.F., Rembovskii V.R.** Dibenzo-*p*-dioksiny. Metody sinteza, khimicheskie svoystva i otsenka opasnosti. *Uspekhi khimii*. 1996. T. 65. № 1. S. 29–41.

А.В. Танеева – канд. хим. наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ), e-mail: alinataneeva@mail.ru • А.В. Юсупова – аспирант, КГЭУ, e-mail: 89057066210@mail.ru • А.В. Павлов – аспирант, КГЭУ, e-mail: xeopro@yandex.ru • В.Ф. Новиков – д-р хим. наук, профессор, КГЭУ, e-mail: pro_aist@mail.ru

A.V. Taneeva – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Kazan Power Engineering University (KPEU), e-mail: alinataneeva@mail.ru • A.V. Pavlov – Post-graduate Student, KPEU, e-mail: 89057066210@mail.ru • A.V. Dmitrieva – Post-graduate Student, KPEU, e-mail: xeopro@yandex.ru • V.F. Novikov – Dr. Sci. (Chem.), Professor, KPEU, e-mail: npo_aist@mail.ru