

Научная статья

УДК 543.544.43; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-183-192

## **ДИНАМИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕКИ ВОЛГИ ФЕНОЛОМ**

✉Танеева Алина Вячеславовна;

Павлов Андрей Владимирович;

Новиков Вячеслав Федорович.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

✉[alinataneeva@mail.ru](mailto:alinataneeva@mail.ru)

*Аннотация.* Фенолы относятся к приоритетным загрязнителям окружающей природной среды и попадают в водные источники через очистные сооружения промышленных предприятий. Они представляют определенную угрозу организму человека, так как многие из них характеризуются высокой токсичностью и относятся к первому классу опасности. Особо высокую токсичность проявляют хлорорганические производные фенола, которые в условиях дезинфекции воды хлорсодержащими препаратами могут образовывать полихлорированные дибензо-*p*-диоксины, которые относятся к суперэкотоксикантам и оказывают негативное влияние на генетический код организма человека. В результате проведенных исследований поверхностные воды бассейна реки Волги Куйбышевского водохранилища были проанализированы на содержание фенола и его производных методом газожидкостной хроматографии. При анализе фенолов в водной среде установлено превышение норм предельно-допустимых концентраций для орто-, мета-, пара- хлорфенолов, которые характеризуются высокой токсичностью для организма человека и живой природы. Установлена динамика сезонных изменений концентрации фенола и его производных в поверхностных водах реки Волги, которые связываются с интенсификацией окислительно-восстановительных процессов в летний период времени, протекающих под влиянием температурных факторов с участием растворенного кислорода.

*Ключевые слова:* фенолы, приоритетные загрязнители, хроматография, сорбенты, водородные связи

**Для цитирования:** Танеева А.В., Павлов А.В., Новиков В.Ф. Динамика загрязнения поверхностных вод реки Волги фенолом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 2 (70). С. 183–192. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-183-192.

Scientific article

## **DYNAMICS OF POLLUTION OF SURFACE WATERS OF THE VOLGA RIVER WITH PHENOL**

✉Taneeva Alina V.;

Pavlov Andrey V.;

Novikov Vaycheslav Ph.

Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

✉[alinataneeva@mail.ru](mailto:alinataneeva@mail.ru)

*Abstract.* Phenols are priority pollutants of the natural environment and enter water sources through wastewater treatment plants of industrial enterprises. They pose a certain threat to the human body, since many of them are highly toxic and belong to the first class of danger. Organochlorine derivatives of phenol exhibit particularly high toxicity; under conditions of water

disinfection with chlorine-containing preparations, they can form polychlorinated dibenzo-n-dioxins, which are classified as super-ecotoxicants and have a negative effect on the genetic code of the human body. As a result of the studies, the surface waters of the Volga river basin of the Kuibyshev reservoir in the water area of the city of Kazan were analyzed for the content of phenol and its derivatives using gas-liquid chromatography. When analyzing phenols in the aquatic environment, it was established that the maximum permissible concentrations norms for ortho-, meta-, para- chlorophenols, which are characterized by high toxicity to the human body and wildlife, were exceeded. The dynamics of seasonal changes in the concentration of phenol and its derivatives in the surface waters of the Volga river has been established, which are associated with the intensification of redox processes in the summer, occurring under the influence of temperature factors involving dissolved oxygen.

*Keywords:* phenols, priority contaminants, chromatography, sorbents, hydrogen bonds

**For citation:** Taneeva A.V., Pavlov A.V., Novikov V.Ph. Dynamics of pollution of surface waters of the Volga river with phenol // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 2 (70). P. 183–192. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-183-192.

### Введение

В настоящее время в окружающую природную среду поступает большое количество загрязняющих веществ в основном от антропогенных источников.

К одним из наиболее широко распространенных органических веществ, загрязняющих водную среду, относятся фенолы, которые характеризуются достаточно высокой токсичностью для организма человека и живой природы [1–3]. Молекула фенола характеризуется наличием гидроксильных групп, поэтому в водной среде она может ионизироваться, в результате чего появляется отрицательный заряд, который приводит к существенному смещению электронной плотности связи С-Н в ароматическом кольце. Это приводит к трансформации  $\pi$ -системы ароматического кольца, в результате чего образуется фенолят ион, который становится активным ароматическим центром. В этом случае облегчается замещение атомов водорода в орто- и пара- положениях бензольного кольца, что приводит к изменению токсичности фенолов в результате их способности к биодegradации [4–6].

Особо высокой токсичностью обладают хлорзамещенные фенолы, которые синтезируются в результате замещения атома водорода в ароматическом кольце на атом хлора. Количество и пространственное расположение атомов хлора в ароматическом кольце и определяет токсичность хлорфенолов по отношению к живым организмам и природной среде [7–9]. При этом аномально высокой токсичностью для живых организмов обладает пентахлорфенол [10]. В условиях водоподготовки могут образоваться полихлорированные дибензо-*n*-диоксины, которые относятся к суперэкоотоксикантам, способным запускать в клетках организма человека процессы окислительного фосфорилирования с образованием свободных радикалов [11–13].

В последнее время были выявлены также фенольные ксеноэстрогены, к которым относятся бисфенол А, 4-нонилфенол и 4-октилфенол, которые обладают мутагенным и тератогенным действием [14]. Для определения содержания их в поверхностных водах и донных отложениях была разработана методика, основанная на методе газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией, а в системе пробоподготовки использовали процедуру концентрирования примесных соединений производных фенола на магнитных сорбентах с использованием полимерных композиций с молекулярными отпечатками [15–16]. Для определения изомеров фенолов, в том числе и хлорфенолов, применяли метод газо-жидкостной хроматографии [17–18].

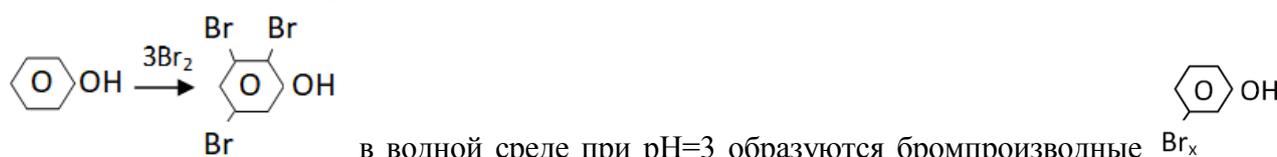
Проведенный анализ литературных источников показал, что проблема загрязнения поверхностных вод токсичными производными фенолов является актуальной, так как связана с обеспечением экологической безопасности водных источников. Это определило

цель работы, которая заключалась в определении концентрации токсичных примесей фенола и его производных в поверхностных водах Куйбышевского водохранилища в акватории реки Волги в различные периоды времени.

### Методы исследования

Экспериментальные исследования проводили с использованием газового хроматографа Кристаллюкс-4000М. В качестве объектов исследования использовали поверхностные воды, отобранные с дебаркадера, расположенного на правом берегу реки Волги. Для определения содержания фенолов в поверхностных водах предварительно были приготовлены модельные растворы фенолов в бидистиллированной воде.

Для извлечения фенола и его производных из поверхностных вод реки Волги использовали процедуру бромирования. В результате реакции фенолов с бромом



в водной среде при pH=3 образуются бромпроизводные  $\text{Br}_x$ , которые экстрагировали гексаном. Образовавшийся экстракт бромпроизводных в гексане выпаривали и дозировали в инжектор газожидкостного хроматографа. Были определены относительные удерживаемые объемы фенолов и их бромпроизводных в соответствии с данными, приведенными в работе [17].

Для оценки степени загрязнения поверхностных вод реки Волги фенолами определяли среднее значение кратности превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК), обобщенный оценочный балл и удельный комбинаторный индекс загрязненности воды в соответствии с руководящим документом [19].

### Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки достоверности полученных экспериментальных результатов при определении фенола и его производных в водной среде использовали методику «введено-обнаружено». С этой целью готовили стандартные растворы фенолов в бидистиллированной воде, экстрагировали их гексаном и проводили анализ полученных экстрактов методом газожидкостной хроматографии.

Результаты определения концентрации фенола приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, погрешность определения фенола в водной среде относительно небольшая при достаточно существенной степени извлечения фенолов из водной среды ( $R=80,5-91,4\%$ ).

Таблица 1

#### Результаты определения концентрации фенолов

№ п/п	Фенолы	С, мг/л		$\pm \Delta \bar{X}$ , мг	$S_r$	R, %
		Введено	Обнаружено			
1	Орто-хлорфенол	0,10	0,092	0,004	0,039	91,4
2	Фенол	0,10	0,098	0,006	0,052	90,2
3	Орто-крезол	0,10	0,093	0,004	0,044	89,6
4	Пара-крезол	0,10	0,086	0,004	0,038	85,9
5	Мета-крезол	0,10	0,082	0,003	0,032	87,7
6	Мета-хлорфенол	0,10	0,080	0,004	0,041	80,5
7	Пара-хлорфенол	0,10	0,087	0,005	0,046	86,9

Примечание:  $\Delta \bar{X}$  – доверительный интервал;  $S_r$  – относительное стандартное отклонение; R, % – степень извлечения фенолов из водной среды

Известно, что полярность органических веществ можно оценивать на основе молекулярной рефракции, которая представляет собой сумму «рефракций» атомов, или групп атомов, составляющих молекулу вещества. При этом в уравнении Ван-дер-Ваальса молекулярная поляризуемость различных веществ связана с их показателем преломления:

$$R = \frac{(n^2 - 1) \cdot M}{(n^2 + 2) \cdot d},$$

где  $R$  – молекулярная рефракция вещества;  $n$  – показатель преломления;  $M$  – молекулярная масса;  $d$  – относительная плотность вещества.

Молекулярная рефракция является аддитивной величиной и вычисляется как сумма атомных рефракций и инкрементов кратных связей.

Поэтому было интересно оценить влияние показателя преломления молекул исследуемых фенолов на их характеристики удерживания с использованием как полярных, так и неполярных сорбционных материалов. С этой целью в качестве неполярного сорбента

был взят силиконовый каучук SE-30 структурной формулы  $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-Si-O-Si-CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$ , а в качестве полярного выступал полиоксиэтилен бис арсенат структурной формулы  $\text{O=As-O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_{34}\text{As=O}$

$$\begin{array}{c} | \quad | \\ (\text{OH})_2 \quad (\text{OH})_2 \end{array}$$

На рис. 1 приведена зависимость логарифма относительного удерживаемого объема фенола и его производных от их показателя преломления как для полярного, так и неполярного сорбента.

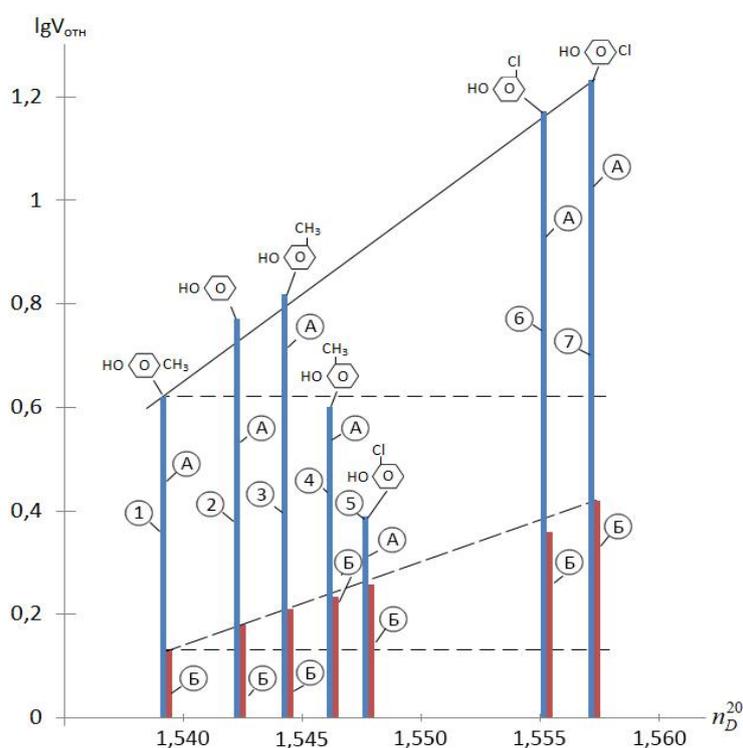


Рис. 1. Зависимость логарифма относительного удерживаемого объема ( $\lg V_{\text{отн}}$ ) фенола и его производных от их показателя преломления ( $n_D^{20}$ ) для сорбентов:

А – полиоксиэтилен бис арсенат; Б – силиконовый каучук SE-30.

Анализируемые фенолы: 1 – пара-крезол; 2 – фенол; 3 – мета-крезол; 4 – орто-крезол; 5 – орто-хлорфенол; 6 – мета-хлорфенол; 7 – пара-хлорфенол

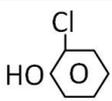
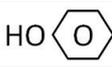
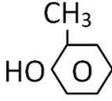
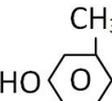
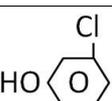
Как видно из рис. 1, зависимость логарифма относительного удерживаемого объема фенолов от их показателя преломления является линейной для неполярного сорбента SE-30.

При переходе к полярным сорбентам полиоксиэтилен бис арсената для фенолов наблюдается линейная зависимость с отклонением от последней в сторону меньших значений удерживаемых объемов для орто-крезола и орто-хлорфенола. В этом случае проявляется эффект ортозаместителя ароматического кольца при образовании межмолекулярной водородной связи.

С использованием сорбента, полученного на основе полиоксиэтилен бис арсената, было определено содержание фенола и его производных в поверхностных водах бассейна реки Волги Куйбышевского водохранилища. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты хроматографического анализа содержания фенолов  
в поверхностных водах реки Волги ( $S_j=30,1$ ;  $S_j'=4,3$ )**

№ п/п	Фенолы	Структура	ПДК, мг/л	$C_{\phi}$ , мг/л	$B_i$	$S_{B_i}$
1	орто-хлорфенол		0,0001	0,0014	1,40	3,03
2	фенол		0,0010	0,0008	0,80	3,02
3	орто-крезол		0,0030	0,0029	0,96	3,02
4	пара-крезол		0,0040	0,0025	0,62	3,01
5	мета-крезол		0,0040	0,0028	0,70	3,01
6	мета-хлорфенол		0,0010	0,0013	1,30	3,03
7	пара-хлорфенол		0,0010	0,0015	1,50	3,03

Как видно из табл. 2, концентрация фенола и его производных в поверхностных водах реки Волги находится на уровне ПДК, а в некоторых случаях превышает эту норму. Расчеты по оценке степени загрязнения поверхностных вод бассейна реки Волги проводили в соответствии с методическими указаниями [19].

На рис. 2 приведены результаты определения содержания фенола в поверхностных водах реки Волги по сравнению с нормами ПДК. Как видно из рис. 2, наблюдается превышение концентрации фенола от норм ПДК для орто-хлорфенола, который относится к первому классу опасности и оказывает негативное влияние на организм человека. Также превышение норм ПДК отмечено для мета- и пара- хлорфенолов.

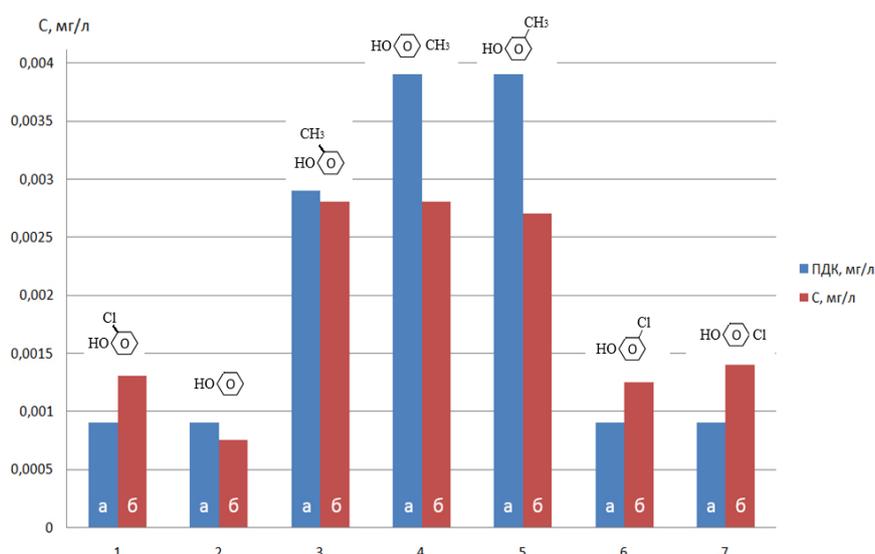


Рис. 2. Содержание фенолов в водной среде реки Волги по сравнению с их нормами ПДК (2021 г.): а – нормы ПДК фенолов, мг/л; б – концентрация фенолов в воде, мг/л; 1 – орто-хлорфенол; 2 – фенол; 3 – орто-крезол; 4 – пара-крезол; 5 – мета-крезол; 6 – мета-хлорфенол; 7 – пара-хлорфенол

На рис. 3 приведены результаты динамики сезонных изменений содержания фенола и растворенного кислорода в поверхностных водах реки Волги за пять лет с 2017 по 2021 г.

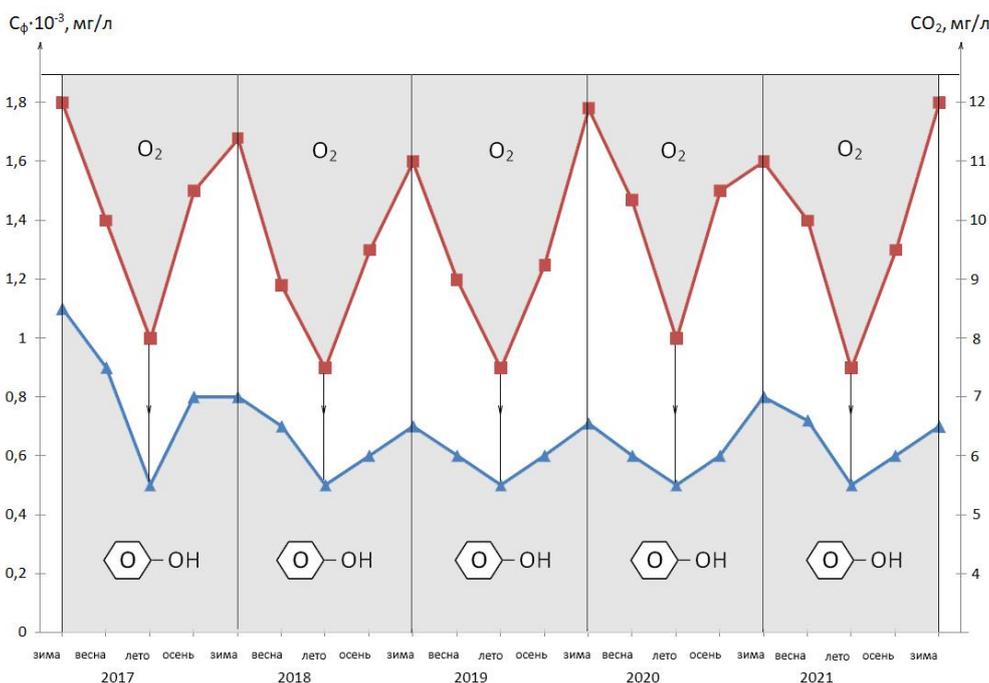
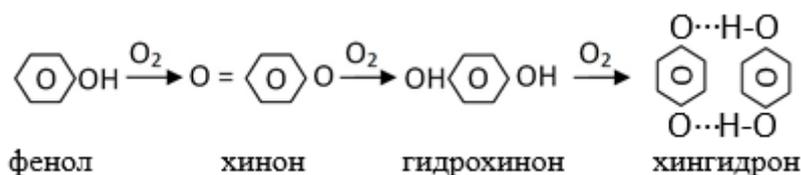


Рис. 3. Динамика сезонных изменений содержания фенола и растворенного кислорода в поверхностных водах реки Волги

Как видно из рис. 3, в летний период времени, как правило, содержание фенола и растворенного в воде кислорода во всех случаях является более низким, чем в зимний период времени. Это связано с тем, что в летний период времени начинают интенсивно протекать окислительно-восстановительные процессы, в результате которых происходит окисление фенола с образованием соединений в соответствии с реакцией:



В результате этого процесса из фенола, который имеет достаточно хорошую растворимость в воде (8,3 г на 100 мл воды), образуется хинон с растворимостью 1,52 г на 100 мл воды, затем гидрохинон с растворимостью 1,37 г на 100 мл воды. Пара-гидрохинон является нелетучим соединением, и он выпадает в осадок и сорбируется донными отложениями, что приводит к уменьшению концентрации фенола в поверхностных водах реки Волги в летний период. Конечным продуктом окисления фенола является хингидрон, который имеет комплексное строение, плохо растворяется в воде (0,35 г на 100 мл воды) и может выпадать в осадок и концентрироваться в донных отложениях.

### Заключение

В результате проведенных исследований были получены новые научные закономерности, заключающиеся в установлении влияния ортозаместителей в ароматическом кольце фенола, проявляющемся в отклонении экспериментальных точек от линейной зависимости логарифма относительного удерживаемого объема от показателя преломления.

Установлена динамика сезонного изменения содержания фенола в поверхностной воде реки Волги, которое объясняется окислительно-восстановительными процессами, протекающими более интенсивно в летний период времени, чем в зимний, с образованием продуктов окисления с относительно более низкой растворимостью в водной среде.

### Список источников

1. Analysis of alkylphenols bisphenol and alkylphenol ethoxylates in microbial-fermented functional beverages and bottled water: Optimization of a dispersive liquid-liquid microextraction protocol based on natural hydrophobic deep eutectic solvents / D. Bante Perez [et al.] // *Food Chem.* 2022. Vol. 377. № 131921.
2. Zebrafish early life stages for toxicological screening: Insights from molecular and biochemical markers / D. Santos [et al.] // *Adv. Mol. Toxicology.* 2018. Vol. 12. P. 151–179.
3. Sample treatment methods for the determination of phenolic environmental estrogens in food and drinking water / Yu Li [et al.] // *J. AOAC Int.* 2020. Vol. 103. № 2. P. 348–364.
4. Synthesis of amino-phenolic humic-like substances and comparison with natural aquatic humic acids: A multi-analytical techniques approach / A.-V. Jung [et al.] // *Org. Geochem.* 2005. Vol. 36. № 9. P. 1252–1271.
5. Ren S., Frymier P.D., Schultz T.W. An exploratory study of the use of multivariate techniques to determine mechanisms of toxic action // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2003. Vol. 55. № 1. P. 86–97.
6. Liu D., Pacepavicius G. A systematic study of the aerobic and anaerobic biodegradation of 18 chlorophenols and 3 cresols // *Toxic. Assess.* 1990. Vol. 5. № 4. P. 367–387.
7. In vitro cytotoxicity of chlorophenols to goldfish GF-scale (GFS) cells and quantitative structure-activity relationship / H. Saito [et al.] // *Environ. Toxicol. Chem.* 1991. Vol. 10. № 2. P. 235–241.
8. Toxicity of 58 substituted anilines and phenols to algae *pseudokirchneriella subcapitata* and bacteria *Vibrio fischeri*: Comparison with published data and QSARs / V. Aruoja [et al.] // *Chemosphere.* 2011. Vol. 84. № 10. P. 1310–1320.
9. Michalowicz J., Duda W. Phenols – Sources and Toxicity (Review) // *Pol. J. Env. Stud.* 2007. Vol. 16. № 3. P. 347–362.

10. Toxicology and carcinogenesis studies of pentachlorophenol in rats / R.S. Chhabra [et al.] // *Toxicol. Sci.* 1999. Vol. 48. № 1. P. 14–20.
11. Zeljezie D. Chromosomal aberration and single cell gel electrophoresis (Comet) assay in the longitudinal risk assessment of occupational exposure to pesticides // *Mutagenesis*. 2001. Vol. 16. № 4. P. 359–363.
12. Olaniran A.O., Igbinsola E.O. Chlorophenols and other related derivatives of environmental concern: Properties, distribution and microbial degradation processes // *Chemosphere*. 2011. Vol. 83. № 10. P. 1297–1306.
13. Post-combustion formation of PCDD, PCDF, PCBz, and PCPh in a laboratory-scale reactor: Influence of dibenzo-p-dioxin injection / S. Jansson [et al.] // *Chemosphere*. 2009. Vol. 76. № 6. P. 818–825.
14. Shehab Z.N., Jamil N.R., Aris A.Z. Occurrence, environmental implications and risk assessment of Bisphenol A in association with colloidal particles in an urban tropical river in Malaysia // *Sci. Rep.* 2020. Vol. 10. № 20360.
15. Применение магнитных сорбентов, модифицированных молекулярно импринтированными полимерами, для скрининга фенольных ксеноэстрогенов / А.С. Губин [и др.] // *Аналитика и контроль*. 2023. Т. 27. № 1. С. 32–41. DOI: 10/15826/analitika.2023.27.1.003.
16. Губин А.С., Кушнир А.А., Суханов П.Т. Сорбционное концентрирование фенолов из водных сред магнитными молекулярно импринтированными полимерами на основе N-винилпирролидона (часть 2) // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2022. Т. 22. № 3. С. 274–283.
17. Газохроматографическое определение фенолов в поверхностных водах с использованием полиоксидилен бис арсената / А.В. Танеева [и др.] // *Аналитика и контроль*. 2020. Т. 24. № 4. С. 305–314. DOI: 10.15826/analitika.2020.24.4.001.
18. Особенности газохроматографических методов контроля содержания фенолов в водной среде / А.В. Танеева [и др.] // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. 2023. № 2 (88). С. 7–18.
19. РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов на/Д, 2002. 50 с.

## References

1. Analysis of alkylphenols bisphenol and alkylphenol ethoxylates in microbial-fermented functional beverages and bottled water: Optimization of a dispersive liquid-liquid microextraction protocol based on natural hydrophobic deep eutectic solvents / D. Bante Perez [et al.] // *Food Chem.* 2022. Vol. 377. № 131921.
2. Zebrafish early life stages for toxicological screening: Insights from molecular and biochemical markers / D. Santos [et al.] // *Adv. Mol. Toxicology*. 2018. Vol. 12. P. 151–179.
3. Sample treatment methods for the determination of phenolic environmental estrogens in food and drinking water / Yu Li [et al.] // *J. AOAC Int.* 2020. Vol. 103. № 2. P. 348–364.
4. Synthesis of amino-phenolic humic-like substances and comparison with natural aquatic humic acids: A multi-analytical techniques approach / A.-V. Jung [et al.] // *Org. Geochem.* 2005. Vol. 36. № 9. P. 1252–1271.
5. Ren S., Frymier P.D., Schultz T.W. An exploratory study of the use of multivariate techniques to determine mechanisms of toxic action // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2003. Vol. 55. № 1. P. 86–97.
6. Liu D., Pacepavicius G. A systematic study of the aerobic and anaerobic biodegradation of 18 chlorophenols and 3 cresols // *Toxic. Assess.* 1990. Vol. 5. № 4. P. 367–387.
7. In vitro cytotoxicity of chlorophenols to goldfish GF-scale (GFS) cells and quantitative structure-activity relationship / H. Saito [et al.] // *Environ. Toxicol. Chem.* 1991. Vol. 10. № 2. P. 235–241.

8. Toxicity of 58 substituted anilines and phenols to algae *pseudokirchneriella subcapitata* and bacteria *Vibrio fischeri*: Comparison with published data and QSARs / V. Aruoja [et al.] // *Chemosphere*. 2011. Vol. 84. № 10. P. 1310–1320.
9. Michalowicz J., Duda W. Phenols – Sources and Toxicity (Review) // *Pol. J. Env. Stud*. 2007. Vol. 16. № 3. P. 347–362.
10. Toxicology and carcinogenesis studies of pentachlorophenol in rats / R.S. Chhabra [et al.] // *Toxicol. Sci*. 1999. Vol. 48. № 1. P. 14–20.
11. Zeljezie D. Chromosomal aberration and single cell gel electrophoresis (Comet) assay in the longitudinal risk assessment of occupational exposure to pesticides // *Mutagenesis*. 2001. Vol. 16. № 4. P. 359–363.
12. Olaniran A.O., Igbinosa E.O. Chlorophenols and other related derivatives of environmental concern: Properties, distribution and microbial degradation processes // *Chemosphere*. 2011. Vol. 83. № 10. P. 1297–1306.
13. Post-combustion formation of PCDD, PCDF, PCBz, and PCPh in a laboratory-scale reactor: Influence of dibenzo-p-dioxin injection / S. Jansson [et al.] // *Chemosphere*. 2009. Vol. 76. № 6. P. 818–825.
14. Shehab Z.N., Jamil N.R., Aris A.Z. Occurrence, environmental implications and risk assessment of Bisphenol A in association with colloidal particles in an urban tropical river in Malaysia // *Sci. Rep*. 2020. Vol. 10. № 20360.
15. Primenenie magnitnyh sorbentov, modifitsirovannyh molekulyarno imprintirovannyimi polimerami, dlya skringa fenol'nyh ksenoestrogenov / A.S. Gubin [i dr.] // *Analitika i kontrol'*. 2023. T. 27. № 1. C. 32–41. DOI: 10/15826/analitika.2023.27.1.003.
16. Gubin A.S., Kushnir A.A., Suhanov P.T. Sorbcionnoe koncentrirovaniye fenolov iz vodnyh sred magnitnymi molekulyarno imprintirovannyimi polimerami na osnove N-vinilpirrolidona (chast' 2) // *Sorbtsionnye i hromatograficheskie processy*. 2022. T. 22. № 3. C. 274–283.
17. Gazohromatograficheskoe opredeleniye fenolov v poverhnostnyh vodah s ispol'zovaniem polioksietilen bis arsenata / A.V. Taneeva [i dr.] // *Analitika i kontrol'*. 2020. T. 24. № 4. C. 305–314. DOI: 10.15826/analitika.2020.24.4.001.
18. Osobennosti gazohromatograficheskikh metodov kontrolya sodержaniya fenolov v vodnoj srede / A.V. Taneeva [i dr.] // *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*. 2023. № 2 (88). C. 7–18.
19. RD 52.24.643–2002. Metod kompleksnoy ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. Rostov na/D, 2002. 50 c.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 15.05.2024; одобрена после рецензирования: 20.05.2024;  
принята к публикации: 29.05.2024

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 15.05.2024; approved after review: 20.05.2024;  
accepted for publication: 29.05.2024

*Информация об авторах:*

**Танеева Алина Вячеславовна**, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, строительства зданий и сооружений Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), кандидат химических наук, e-mail: [alinataneeva@mail.ru](mailto:alinataneeva@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8276-5311>, SPIN-код: 3323-2620

**Павлов Андрей Владимирович**, аспирант кафедры энергообеспечения предприятий, строительства зданий и сооружений Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: [xeopro@yandex.ru](mailto:xeopro@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2949-986X>

**Новиков Вячеслав Федорович**, профессор кафедры энергообеспечения предприятий, строительства зданий и сооружений Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), доктор химических наук, профессор, обладатель Ведомственной награды Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Почетный наставник», e-mail: [pro\\_aist@mail.ru](mailto:pro_aist@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5734-6326>, SPIN-код: 5379-6084

*Information about the authors:*

**Taneeva Alina V.**, associate professor of the department of energy supply of enterprises, construction of buildings and structures of Kazan state energy university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), candidate of chemical sciences, e-mail: [alinataneeva@mail.ru](mailto:alinataneeva@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8276-5311>, SPIN: 3323-2620

**Pavlov Andrey V.**, postgraduate student of the department of energy Supply of enterprises, building construction and structures of Kazan state energy university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), e-mail: [xeopro@yandex.ru](mailto:xeopro@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2949-986X>

**Novikov Vyacheslav F.**, professor of the department of energy supply of enterprises, construction of buildings and structures of the Kazan state energy university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), doctor of chemical sciences, professor, holder of the departmental award of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation «Honorary mentor», e-mail: [npo\\_aist@m](mailto:npo_aist@m), SPIN: 5379-6084