



УДК 543.31:542.08

DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-382–392

Комплексный экспресс-анализ загрязнения вод

¹Маслова Н.В., ²Кочетова Ж.Ю.

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Россия, 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19

²ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А
E-mail: maslovanatvl@mail.ru, zk_vva@mail.ru

Аннотация. Проблема анализа вод различного генезиса обусловлена сложностью и динамичностью их состава. Стандартное определение некоторых показателей качества вод не отражает их реальное загрязнение и комплексное воздействие на живые системы. Существующие подходы к комплексной оценке вод по биотестам трудоемки, требуют специализированных лабораторий, поэтому мало применяются на практике. Цель работы – создание доступного для широкого круга потребителей способа экспресс-определения суммарного индекса загрязнения вод. В процессе исследования проведена оценка качества питьевых и сточных бытовых вод в г. Воронеж по стандартным методикам. Для альтернативного способа оценки суммарного загрязнения вод предложено устройство «электронный нос». Установлено, что с помощью устройства возможна надежная комплексная оценка загрязнения проб (без расшифровки химического состава) относительно эталонного образца «чистой» воды. Предложенный способ более точен, так как учитывает все загрязнители вод, а также продукты их взаимодействия, которые не определяют лабораторными методами в установленном порядке.

Ключевые слова: загрязнение вод, анализ вод, индекс загрязнения воды, Воронеж, пьезокварцевые резонаторы, электронный нос

Для цитирования: Маслова Н.В., Кочетова Ж.Ю. 2021. Комплексный экспресс-анализ загрязнения вод. Региональные геосистемы, 45(3): 382–392. DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-382–392

Comprehensive rapid analysis of water pollution

¹Natal'ya V. Maslova, ²Zhanna Yu. Kochetova

¹Voronezh State University of Engineering Technologies,
19 Prospekt Revolyutsii, Voronezh, 394036, Russia

²Military Educational and Scientific Center Air Force
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»,
54A Starykh Bol'shevikov St, Voronezh, 494064, Russia
E-mail: maslovanatvl@mail.ru, zk_vva@mail.ru

Abstract. The problem of analyzing waters of various genesis is due to the complexity and dynamism of their composition. The assessment of some physical, chemical and sanitary-bacteriological indicators of water quality does not give a complete picture of their real pollution and complex impact on living systems. The existing approaches to the integrated assessment of waters by biotests are characterized by high labor intensity, require specially equipped laboratories, therefore they are rarely used in practice. The aim of the work is to create an accessible method for express determination of the total water pollution index. In the course of the study, the quality of drinking and waste domestic water in the city of Voronezh was assessed, followed by the calculation of their total pollution index according to the standard methodology. An «electronic nose» type device is proposed as an alternative method for assessing the total water pollution. It is established that with the help of the device, a reliable comprehensive assessment of the contamination of samples (without decoding the chemical composition) is possible



relative to the reference sample of conditionally «clean» water. The method excludes the stage of sample preparation, the duration of analysis in the field does not exceed 3 minutes. The proposed total indicator of water pollution is accurate, since it takes into account all water pollutants, as well as products of their interaction, which are not determined by laboratory methods in the prescribed manner. The correlation analysis of the values of the total indicators of water pollution according to the standard and proposed schemes showed an average closeness of the relationship ($R^2 = 0,85$).

Keywords: water pollution, water analysis, water pollution index, Voronezh, piezo-quartz resonators, electronic nose.

For citation: Maslova N.V., Kochetova Zh.Yu. 2021. Comprehensive rapid analysis of drinking and waste water. Regional geosystems, 45 (3): 382–392 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-3-382–392

Введение

Циклическая схема использования чистых вод рек, озер, подземных источников для нужд человека и возвращения загрязненной воды в те же природные водоемы используется с самого зарождения крупных поселений. Предварительно очищенные сточные воды для повторного использования должны быть разбавлены пресной водой как минимум в 15 раз [Якуцени, Буровский, 2015]. С ростом населения городских агломераций до десятков миллионов человек, а также с распространением новых видов опасных и плохо разлагаемых загрязнителей, природа перестала справляться с очисткой воды. Однако на огромных территориях в условиях нехватки питьевой воды и экономических проблем циклическая схема водопользования остается единственно возможной. Это неизбежно приводит к уничтожению биоты водоемов, распространению болезней среди населения, возникновению эпидемий и военных конфликтов [Hu, Chen, 2013; Ismailov, Alieva, 2019].

В Российской Федерации с 2000 г. на модернизацию систем водоснабжения и водоотведения крупных городов выделяются немалые средства. Благодаря значительным запасам природных водных ресурсов, снижению производства (следовательно, и уровня загрязнения вод), а также за счет роста коммунальных тарифов, дефицит питьевой воды пока преодолевается. При этом качество питьевых и сточных вод оставляет желать лучшего, что вызвано самим подходом к решению проблемы, пробелами в законодательных актах, недостаточно полным мониторингом сточных вод [Kharitonov, 2017; Веницианов, Лепехина, 2019].

Качественный и количественный анализ вод проводят по санитарно-бактериологическим, физическим и химическим показателям [Стрижов и др., 2020]. Исследователи сталкиваются с проблемами, вызванными главным образом сложностью состава сточных вод и постоянно расширяющимся списком потенциальных загрязнителей. Химические компоненты могут характеризоваться высокой реакционной способностью и, в зависимости от разнообразных условий окружающей среды, образовывать те или иные продукты взаимодействия с еще большей опасностью, чем первичные загрязнители. Оценивать по стандартным методикам с применением даже новейших аналитических подходов все качественные комбинации образующихся токсикантов в различных их количественных соотношениях невозможно, так как состав сточных вод динамичен и может зависеть даже от погодных условий.

Из тысяч потенциально опасных для человека химических соединений всего 300 могут быть определены с применением современных методов анализа [Ушакова и др., 2016]. Обязательному контролю подлежит 34 показателя, а на практике зачастую анализируют меньше, что вызвано высокой стоимостью лабораторных исследований [СанПиН 2.1.3684-21, 2021]. Аналитический контроль вод любого генезиса подразумевает количественное определение веществ, подлежащих контролю, с последующим сравнением установленных



показателей с нормами, при этом не учитывается их комплексное воздействие на организм человека и объекты окружающей среды. Главным дефектом при таком подходе является то, что невозможно исследовать все многообразие содержащихся в водах токсикантов и сделать верный вывод о реальной опасности суммарного загрязнения вод.

Для разрешения проблемы комплексного анализа вод созданы системы биотестирования, в которых предлагается сочетать некоторые доступные и простые биотесты с аналитическими методами определения загрязнителей. Таким образом, удастся оценить общее воздействие всех загрязнителей вод на живые системы, а не по отдельным санитарно-бактериологическим и химическим показателям [Маханова, 2019; Cherkashin et al., 2019]. Этот анализ трудоемок, требует дополнительного оснащения лабораторий и специальной квалификации персонала.

Цель проводимых исследований – разработка экономичного, доступного способа экспресс-оценки качества вод различного генезиса, позволяющего в течение нескольких минут определить степень отклонения их химического состава от эталонного образца «чистой» воды.

Чистота воды является абстрактным показателем, так как даже после многостадийной очистки в ней всегда присутствуют различные примеси и растворенные газы. Поэтому точкой отсчета «чистоты» эталонного образца в работе принята дистиллированная вода.

Объекты и методы исследования

В г. Воронеж централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение доступно 98 % населения. Основной источник водоснабжения – подземные воды неоген-четвертичного водоносного горизонта. Эксплуатируется 11 водоподъемных станций, 7 из них расположены по берегам Воронежского водохранилища и гидравлически с ним связаны. Из официальных данных, ежемесячно публикуемых на сайте Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области, следует, что качество питьевой воды в распределительной сети централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в 16 точках постоянного контроля отвечает гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Исследования, которые проводятся на протяжении десятков лет независимыми экспертами и учеными Воронежа, свидетельствуют о том, что качество питьевой воды в городе оставляет желать лучшего. В водопроводной воде, отобранной в различных районах города, отмечается превышение нормативов по содержанию железа, марганца, минерализации, показателю кислотности [Прожекина, Хруслева, 2013], по содержанию железа и марганца, общих колиформ, термотоллерантных колиформ, общего микробного числа, колифагов, по запаху и привкусу [Бережнова, Мамчик, 2010].

Независимых систематических исследований по уровню загрязнения бытовых сточных вод непосредственно в канализационных люках практически не проводилось, однако есть данные по загрязнению водных объектов г. Воронежа промышленными и бытовыми сточными водами, что отражено в ежегодных докладах о природоохранной деятельности городского округа Воронеж, а также в научных статьях [Васильева, Натарева, 2016; Коробкин, Косинова, 2018].

Для того, чтобы показать аналитические возможности разработанного способа, в качестве объектов исследования выбраны значительно различающиеся по химическому составу образцы воды: дистиллированная вода из «Медико-санитарной части № 97» и химической лаборатории ВУНЦ ВВС «ВВА» (пробы 0); питьевая вода из скважины поселка Гремячье (проба I); водопроводная вода из микрорайона Озерки (проба II); сточные бытовые воды Воронежского механического завода, отобранные в канализационном колодце на улице Острогжской (проба III), в трех различных колодцах на улице Ворошилова (пробы IV–VI).



Для репрезентативности результатов исследования пробы из каждого источника отбирали еженедельно в течение декабря 2020 г. и анализировали по стандартным методам в аккредитованной лаборатории: по 25 показателям для сточных бытовых вод и по 30 показателям для питьевой воды. Для комплексной оценки качества исследуемых питьевых и сточных вод рассчитывали индекс загрязнения [Гагарина, 2012]:

$$\text{ИЗВ} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) / n,$$

где C_i и ПДК_i – фактическая и предельно допустимая концентрации i -того вещества; n – количество исследуемых веществ.

В качестве альтернативного метода экспресс-оценки комплексного загрязнения вод применяли метод пьезокварцевого микровзвешивания. Этот метод, благодаря высокой чувствительности и экономичности, нашел широкое распространение во многих сферах химического анализа, в том числе и для экологических исследований [Kotchetova et al., 2017; Kuchmenko, Lvova, 2019]. К его основным недостаткам относят низкую селективность чувствительных элементов – пьезокварцевых резонаторов (микровесов). Для повышения селективности на поверхность микровесов наносят пленки сорбентов различной природы, проявляющих сродство к индивидуальным компонентам или группе родственных соединений. Однако загрязненные воды являются сложными системами с переменным неизвестным составом, поэтому для их исследования необходимо использовать матрицу из нескольких микровесов, модифицированных разнородными сорбентами с перекрестной чувствительностью к анализируемым компонентам. Воронежскими учеными с помощью матрицы из 8 микровесов были идентифицированы некоторые летучие компоненты в пресной и морской водах, в том числе карбоновые кислоты, аммиак, амины, спирты, ацетон, толуол. Авторами отмечается высокое мешающее влияние паров воды на идентификацию компонентов при их концентрациях ниже 50 ПДК [Shuba et al., 2016].

В данной работе матрицу из 5 пьезокварцевых микровесов, модифицированных пленками сорбентов различной полярности (1 – полиэтиленгликоль-2000; 2 – тритон X-100, 3 – полидиметилсилоксан, 4 – родамин-6Ж, 5 – многослойные углеродные нанотрубки), использовали для комплексной оценки загрязнения вод. Для этого применяли устройство типа «электронный нос», схема которого приведена на рис. 1. Подробно конструкция устройства описана в патенте [Кучменко и др., 2007].

Пробы воды объемом 5 см³ при температуре 22 ± 0,1 °С помещают в чашку Петри и герметично закрывают корпусом ячейки детектирования объемом 20 см³ так, чтобы вода не соприкасалась с пьезокварцами. Пары воды и летучие компоненты исследуемой пробы самопроизвольно диффундируют в верхнюю часть ячейки детектирования к микровесам, где адсорбируются на пленочных покрытиях. Частота колебаний каждого пьезокварца уменьшается на величину ΔF_i (Гц), которая функционально связана с приращением массы адсорбированных компонентов воды на пленках сорбентов. В результате одного измерения получают 5 аналитических сигналов от пьезокварцевых резонаторов матрицы, которые затем объединяют в единый сигнал, визуализируемый в виде лепестковой диаграммы.

Диаграммы формируют, используя различные подходы: по абсолютному аналитическому сигналу каждого пьезокварца матрицы [Кочетова и др., 2002], с учетом кинетических особенностей сорбции смеси компонентов на отдельных пленочных сорбентах [Кочетова, 2002]. Важно зафиксировать изменение геометрии диаграммы при незначительном изменении состава пробы. Для анализа загрязненных вод в качестве суммарного аналитического сигнала использовали нормированные сигналы относительно максимального в матрице микровесов ($\Delta F_i / \Delta F_{\max}$), которые откладывали по осям диаграммы. Особенности кинетики сорбции учитывали путем фиксирования значений $\Delta F_i / \Delta F_{\max}$ в определенный момент времени τ (с). Время τ отражается по круговой шкале диаграммы. Оптимальное



время считывания аналитических сигналов микровесов определяется экспериментально для систем различного генезиса, как указано в ранее проведенной работе [Кочетова, 2002]. Для исследования загрязненных вод выбрано время считывания сигналов микровесов $\tau = 15, 30, 60, 90, 120$ с.

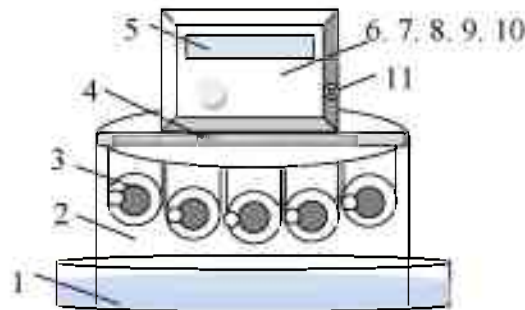


Рис. 1. Схема устройства типа «электронный нос» для комплексного анализа загрязнения вод:
1 – проба воды; 2 – ячейка детектирования с открытым входом; 3 – пьезокварцы; 4 – держатели пьезокварцев; 5 – электронное табло; 6 – генераторы колебаний пьезокварцев;
7 – микропроцессор; 8 – микрокатомер; 9 – аккумулятор; 10 – защитный корпус;
11 – разъем для подключения устройства к персональному компьютеру

Fig. 1. Diagram of the device of the "electronic nose" for the integrated analysis of water pollution:
1 – water sample; 2 – cell detection with an outdoor entrance; 3 – piezoquartz; 4 – holders piezoquartz;
5 – electronic display; 6 – oscillator piezoelectric quartz; 7 – microprocessor; 8 – microcatheter;
9 – battery; 10 – protective housing; 11 – connector to connect the device to a personal computer

Надо отметить, что фиксируются не только особенности испарения и диффузии летучих компонентов воды, но и наличие растворенных в ней минеральных соединений, ПАВ. Растворенные нелетучие соединения изменяют поверхностное натяжение воды и давление насыщенных паров, а, следовательно, влияют на особенности кинетики испарения как самой воды, так и присутствующих в ней летучих соединений.

Геометрическая форма лепестковой диаграммы – качественная характеристика метода пьезокварцевого микровзвешивания – строго индивидуальна для каждого испытуемого образца. Для комплексной оценки загрязнения вод предлагается с помощью программы для распознавания изображений рассчитывать степень отклонения геометрической формы диаграммы (СОД, % пикселей) испытуемого образца воды от диаграммы эталонной пробы.

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа проб дистиллированной, питьевой и сточных вод, полученные в аккредитованной лаборатории, приведены в табл. 1. Исследуемая дистиллированная вода по всем показателям соответствует норме. Жесткость питьевой воды, отобранной из скважины в поселке Гремячем, превышает норматив в 2,2 раза. В пробах превышено содержание железа и марганца: в 1,2 и 1,8 раза в водопроводной воде; в 2,9 раза и 2,2 – в воде из скважины. По всем остальным показателям пробы питьевой воды соответствуют установленным нормативам, но следует отметить высокое содержание нитратов в воде, отобранной в жилом доме нового микрорайона Озерки г. Воронеж. Пробы сточных бытовых вод из четырех исследуемых канализационных колодцев Воронежского механического завода значительно различаются по химическому составу, так как имеют разные по природе источники загрязнения. Бытовые сточные воды включают стоки отдельных цехов завода, офисных помещений, столовой, душевых, туалетов. Во всех пробах зафиксировано многократное превышение концентрации фосфатов (ПДК = 0,2 мг/дм³), основными источниками которых являются продукты жизнедеятельности человека, бытовая химия, моющие средства.



Таблица 1
Table 1

Показатели качества вод
Water quality indicators

Показатель	Пробы воды							
	Дистиллированная		Питьевая		Сточная бытовая			
	0		I	II	III	IV	V	VI
pH, ед. pH	5.8±0.2	5.7±0.2	6.9±0.2	7.2±0.2	8.7±0.2	8.3±0.2	7.7±0.2	7.3±0.2
Нитраты, мг/дм ³	< 0.2	< 0.2	15.2±3.0	35,2±7,04	60,7±9,8	12.4±2.5	19,5±3,1	69,4±10,1
Нитриты, мг/дм ³	–	–	< 0.02	< 0.02	0.35±0.05	2.30±0.47	0,27±0,04	1.6±0.28
Хлориды, мг/дм ³	< 0.02	< 0.02	23.0±0.5	< 10.0	343.2±9.4	78.4±1.8	249.7±6.2	146.5±3.8
Ионы NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	< 0.02	< 0.02	< 0.04	< 0.04	1.41±0.40	50,6±6,0	3,10±0,60	15,0±2,8
Сульфаты, мг/дм ³	< 0.5	< 0.5	62.0±12.4	6.45±0.29	58.2±11.8	46.3±10.4	30.0±8.4	154.6±22.6
Фосфаты, мг/дм ³	–	–	–	–	0,77±0,10	16,9±2,4	0,77±0,10	1,15±0,21
Фториды, мг/дм ³	–	–	0.47±0.11	0.25±0.11	–	–	–	–
Хром (VI), мг/дм ³	–	–	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.016±0.008	0.016±0.008
Хром общий, мг/дм ³	–	–	–	–	< 0.01	< 0.01	0,021±0,009	0.018±0.008
Железо, мг/дм ³	< 0.05	< 0.05	0,29±0,04	0,12±0,04	0.17±0.03	0,85±0,10	0,93±0,12	0.13±0.02
Медь, мг/дм ³	< 0.02	< 0.02	< 0.001	< 0.001	0.040±0.009	0.015±0.005	0.072±0.016	0.020±0.004
Марганец, мг/дм ³	–	–	0,022±0,006	0,02±0,01	–	–	–	–
Алюминий, мг/дм ³	–	–	< 0.01	< 0.01	–	–	–	–
Цинк, мг/дм ³	< 0.2	< 0.2	–	–	0.002±0.0004	< 0.001	0.037±0.006	0.006±0.001
Нефтепродукты, мг/дм ³	–	–	–	–	0.063±0.010	0,34±0,04	0.23±0.03	0,38±0,04
Жесткость, °Ж	–	–	15,6±2,34	2.15±0.32	–	–	–	–
Взвешенные вещества, мг/дм ³	–	–	–	–	2.0	17.2	87.8	97.6
ХПК, мг O ₂ /дм ³	–	–	–	–	47,43±6,22	156,1±18,5	64,26±9,16	58,14±8,12
ПАВ, мг/дм ³	–	–	–	–	0.14±0.02	0.28±0.04	0,13±0,02	1,50±0,2
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	< 0.08	< 0.08	1.50±0.30	1.50±0.30	–	–	–	–
Удельная электропроводность, 20°C, См/м	(3.2±0.1) · 10 ⁻⁴	(3.1±0.1) · 10 ⁻⁴	–	–	–	–	–	–

Примечание: жирным шрифтом выделены показатели, превышающие нормативы, установленные СанПиН 1.2.3685-21; прочерк – показатели не определяли.

Максимальное содержание фосфатов зафиксировано в пробе 4, оно составляет 84 ПДК. В пробах 3 и 6 установлено превышение ПДК нитратов в ~1,5 раза. В пробах 4–6 концентрации ионов аммония превышают норматив, в пробе 4 их содержание равно 33 ПДК. При высоком содержании фосфор- и азотсодержащих соединений в воде активно развиваются микроорганизмы, при этом снижается содержание кислорода, активизируют-



ся процессы гниения. Во всех пробах отмечается повышенное значение ХПК. В пробах 4 и 6 незначительно превышено ПДК нефтепродуктов. Содержание исследуемых металлов соответствовало установленным нормативам, кроме железа в пробах 4 и 5. Проба 6 отличается от других сточных вод из канализационных колодцев трехкратным превышением норматива по содержанию поверхностно активных веществ.

Результаты расчетов интегрального показателя загрязнения вод приведены в табл. 2. Для расчета выбраны те показатели, которые либо превышают норматив, либо близки к нему (нитраты, хлориды, ионы аммония, фосфаты, нефтепродукты, ХПК – для сточных бытовых вод; нитраты, хлориды, ионы аммония; жесткость, содержание марганца и железа – для питьевой воды). Максимальное значение ИЗВ = 21 установлено для пробы сточных бытовых вод 4, что обусловлено их значительным загрязнением фосфатами и ионами аммония.

Результаты экспресс-оценки качества некоторых проб исследуемых вод предложенным способом изображены на рис. 2. Диаграммы для двух проб дистиллированной воды отличаются между собой менее, чем на 0,3 %. В качестве эталонного образца выбрана проба дистиллированной воды из «Медико-санитарной части № 97» (рис. 2, а). На рис. 2, б–г графически показано отклонение диаграмм сорбции паров исследуемых вод относительно эталонного образца. Степени отклонения геометрии диаграмм исследуемых проб воды от условно чистой приведены в табл. 2.

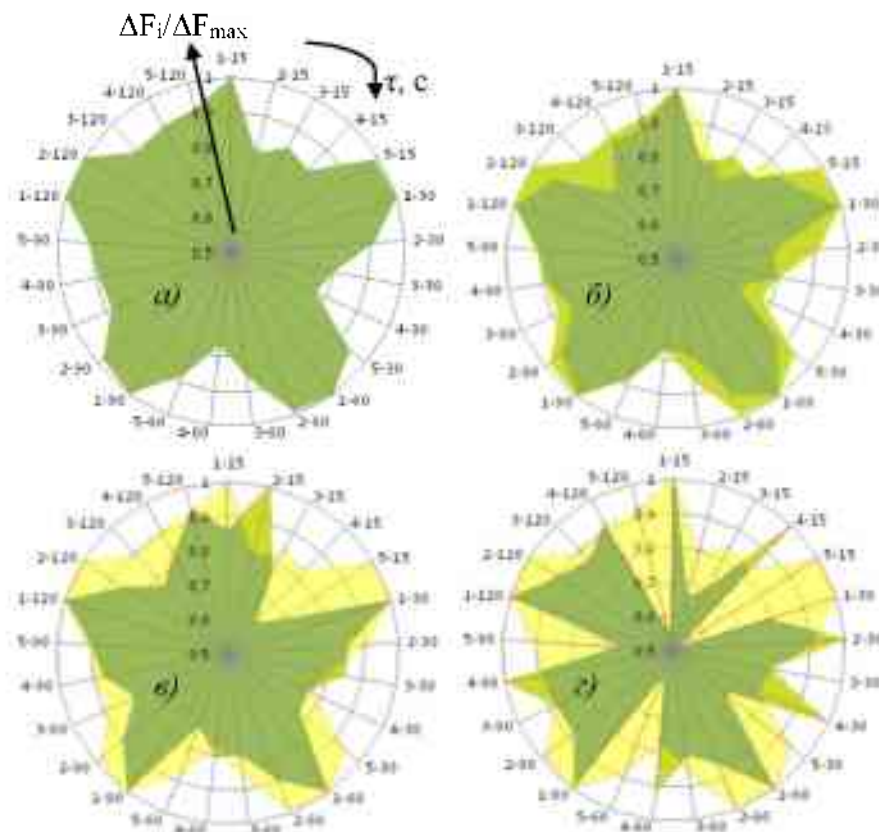


Рис. 2. Диаграммы сорбции паров: а – дистиллированной; б – питьевой, в, г – сточных бытовых вод

Fig. 2. Diagrams of the sorption of vapors of: а – distilled; б – drinking, в, г – domestic wastewater



Таблица 2
Table 2

Интегральная оценка загрязнения питьевых и сточных вод
Integrated assessment of drinking water and wastewater pollution

Интегральный показатель загрязнения воды	Питьевая вода		Сточная бытовая вода			
	I	II	III	IV	V	VI
ИЗВ	0,14	0,28	1,5	21,0	1,7	3,5
СОД, %	1,7	2,2	6,7	44,2	7,3	9,4
Ранг загрязнения	очень чистая	чистая	умеренно загрязненная	чрезвычайно грязная	умеренно загрязненная	загрязненная

Коэффициент корреляции между значениями стандартного и предложенного индекса суммарного загрязнения воды составляет 0,85. Низкое значение коэффициента корреляции обусловлено тем, что при расчете ИЗВ невозможно учесть все параметры загрязнения воды. Для этого необходимо знать полный качественный состав проб и проводить детальный количественный анализ всех компонентов, что малоэффективно и не имеет смысла при рутинном экологическом мониторинге.

Заключение

Проведена комплексная оценка качества питьевых и сточных вод, отобранных в г. Воронеж, в соответствии со стандартной методикой расчета индекса ИЗВ и с помощью разработанного измерительного устройства типа «электронный нос» по степени отклонения диаграмм сорбции паров исследуемой воды от диаграммы эталонной «условно» чистой воды. В питьевых водах (из скважины и централизованного водоснабжения) отмечается высокое содержание железа и марганца. В сточных бытовых водах Воронежского механического завода обнаружено превышение нормативных значений по содержанию ионов аммония, фосфатов, железа, нефтепродуктов. Показатель ХПК для сточных вод превышен в 1,5–5 раз.

Разработанный способ оценки интегрального загрязнения вод любого генезиса по показателю СОД учитывает все загрязнители без расшифровки их качественного состава. Таким образом, предложенный показатель является более точным при оценке суммарного загрязнения вод, чем ИЗВ, рассчитываемый по отдельным показателям. Способ характеризуется экономичностью (низкие энерго- и ресурсопотребление измерительного устройства, требования к квалификации персонала); экспрессностью (анализ пробы воды с расчетом суммарного загрязнения не занимает более 3 мин), мобильностью измерительного устройства (не требуется пробоподготовка, возможно проведение измерений «на месте»). Разработанный способ может быть полезным для ранжирования проб по уровню загрязнения перед лабораторным детальным анализом, при угрозе развития чрезвычайных ситуаций в результате аварийных утечек; при оценке качества питьевой воды самими потребителями в бытовых условиях.

Авторы выражают благодарность сотрудникам «Медико-санитарной части № 97».

Список источников

1. Гагарина О.В. 2012. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск, Удмуртский университет, 197 с.
2. Коробкин А.В., Косинова И.И. 2018. Обобщение данных по техногенным гидрохимическим аномалиям на примере территории Воронежской области и г.Воронежа. ЗАО



«Геолинк Консалтинг». Электронный ресурс. URL: <http://www.geolink-consulting.ru/company/confer2/korobk.html> (дата обращения: 2 апреля 2021).

3. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Дата введения 28.01.2021 № 3.

4. Ушакова И.Г., Горелкина Г.А., Кадысева А.А., Широченко О.В. 2016. Физико-химический анализ воды. Омск, Омский аграрный университет, 64 с.

Список литературы

1. Бережнова Т.А., Мамчик Н.П. 2010. Оценка состояния водных объектов в местах водопользования населения г. Воронежа. *Фундаментальные исследования*, 9: 115–120.
2. Васильева М.В., Натарова А.А. 2016. Влияние сточных вод на водные объекты в Воронежской области. *Наука. Мысль: электронный периодический журнал*, 6 (7–1): 141–145.
3. Веницианов Е.В., Лепехина А.П. 2019. Актуальные проблемы водопользования в России. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*, 6 (138): 12–20.
4. Кочетова Ж.Ю. 2002. Определение легколетучих органических соединений в газовой фазе с применением пьезосорбционных сенсоров на основе синтетических и природных полимеров. Дис. ... канд. хим. Наук. Саратов, 143 с.
5. Кочетова Ж.Ю., Кучменко Т.А., Коренман Я.И. 2002. Способ определения фенола в газовой смеси с нитропроизводными. Патент РФ № RU 2188417 С1. Дата публикации 27.08.2002.
6. Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Силина Ю.Е. 2007. Газоанализатор с открытым входом на основе пьезосенсоров. Патент РФ № RU 2302627 С1. Дата публикации 10.07.2007.
7. Маханова Е.В. 2019. Диагностика экологического состояния водоема: сопоставление результатов химического анализа, биотестирования и биоиндикации. *Вода и экология: проблемы и решения*, 2 (78): 102–110. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.2.102-110.
8. Прожорина Т.И., Хруслова И.П. 2013. Оценка качества централизованного питьевого водоснабжения г. Воронежа. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 1: 142–144.
9. Стрижов Н.К., Дубакова А.В., Лазарев А.А. 2020. Технологии водоподготовки на примере ООО «Краснодар водоканал»: анализ и рекомендации. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3 (374–375): 53–56. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.2-3.14.
10. Якуцени С.П., Буровский А.М. 2015. *Политическая экология*. М. Берлин, Директ-Медиа, 426 с.
11. Cherkashin S.A., Simokon' M.V., Pryazhevskaya T.S. 2019. Analysis of the ecotoxicological conditions of Amur bay, the sea of Japan, by chemical and toxicological characteristics. *Water resources*, 46: 432–442. DOI: 10.1134/S0097807819030059.
12. Ismailov N.M., Alieva S.R. 2019. Potential role of groundwater in pollution of coastal water of the Caspian sea by organic pollutants. *Arid Ecosystems*, 9: 202–208. DOI: 10.1134/S2079096119030053.
13. Kharitonov G. 2017. Cross-border water use problems in Russia and Ukraine. *Science Almanac of Black Sea Region Countries*, 2 (10): 49–54. DOI: 10.23947/2414-1143-2017-10-2-49-54.
14. Kotchetova Z.Y., Kuchmenko T.A., Bazarsky O.V. 2017. Rapid assessment of soil pollution with kerosene using a carbon-nanotube-based piezosensor. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 72: 63–68. DOI: 10.3103/S0027131417010084.
15. Kuchmenko T.A., Lvova L.V. 2019. A perspective on recent advances in piezoelectric chemical sensors for environmental monitoring and foodstuffs analysis. *Chemosensors*, 7 (3): 39. DOI: 10.3390/chemosensors7030039.
16. Shuba A.A., Kuchmenko T.A., Samoilova E.I., Bel'skikh N.V. 2016. Selection of a piezoelectric sensor array for detecting volatile organic substances in water. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 71: 68–75. DOI: 10.3103/S0027131416010156.
17. Hu Y., Cheng H. 2013. Water pollution during China's industrial transition. *Environmental Development*, 8: 57–73. DOI: 10.1016/j.envdev.2013.06.001.



References

1. Berezhnova T.A., Mamchik N.P. 2010. Otsenka sostoyaniya vodnykh ob'ektov v mestakh vodopolzovaniya naseleniya g. Voronezha [Water objects assessment in the water consumption places in Voronezh]. *Fundamentalnyye issledovaniya*, 9: 115–120.
2. Vasilyeva M.V., Natarova A.A. 2016. Effect of Sewage on Water Bodies in Voronezh Region. *A science. Thought: electronic periodic journal*, 6 (7–1): 141–145 (in Russian).
3. Venitsianov E.V., Lepikhin A.P. 2019. Actual Problems of Water Use in Russia. *Water purification. Water treatment. Water supply journal*, 6 (138): 12–20 (in Russian).
4. Kochetova Zh.Yu. 2002. Opredelenie legkoletuchih organicheskikh soedinenij v gazovoj faze s primeneniem p'ezosorbcionnyh sensorov na osnove sinteticheskikh i prirodnyh polimerov [Determination of volatile organic compounds in the gas phase using piezosorption sensors based on synthetic and natural polymers]. *Dis. ... cand. chem. sciences. Saratov*, 143 p.
5. Kochetova Zh.Ju., Kuchmenko T.A., Korenman Ja.I. 2002. Method for Detecting Phenol in Gas Mixture Containing Nitrate Derivatives. Patent RF № RU 2188417 C1. Date of publication 27.08.2002.
6. Kuchmenko T.A., Kochetova Zh.Ju., Silina Ju.E. 2007. Gas Analyzer with an Open Inlet on the Basis Of Piezosensors. Patent RF № RU 2302627 C1. Date of publication 10.07.2007.
7. Mahanova E.V. 2019. Diagnostics of the Water Body Ecological State: Comparing Results of Chemical Analysis, Bioassay and Bioindication. *Water and ecology*, 2 (78): 102–110. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.2.102-110 (in Russian).
8. Prozorina T.I., Khruslova I.P. 2013. Assessment of the Quality of Centralized Drinking Water Supply in Voronezh City. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 1: 142–144 (in Russian).
9. Strizhov N.K., Dubakova A.V., Lazarev A.A. 2020. Technologies of Water Treatment on the Example of the Llc "Krasnodar Vodokanal": Analysis and Recommendations. *News of institutes of higher education. Food technology*, 2–3 (374–375): 53–56. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.2-3.14 (in Russian).
10. Yakutseni S.P., Burovsky A.M. 2015. *Politicheskaya ekologiya [Political Ecology]*. Moscow-Berlin, Publ. Direct-Media, 426 p.
11. Cherkashin S.A., Simokon' M.V., Pryazhevskaya T.S. 2019. Analysis of the ecotoxicological conditions of Amur bay, the sea of Japan, by chemical and toxicological characteristics. *Water resources*, 46: 432–442. DOI: 10.1134/S0097807819030059.
12. Ismailov N.M., Alieva S.R. 2019. Potential role of groundwater in pollution of coastal water of the Caspian sea by organic pollutants. *Arid Ecosystems*, 9: 202–208. DOI: 10.1134/S2079096119030053.
13. Kharitonov G. 2017. Cross-border water use problems in Russia and Ukraine. *Science Almanac of Black Sea Region Countries*, 2 (10): 49–54. DOI: 10.23947/2414-1143-2017-10-2-49-54.
14. Kotchetova Z.Y., Kuchmenko T.A., Bazarsky O.V. 2017. Rapid assessment of soil pollution with kerosene using a carbon-nanotube-based piezosensor. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 72: 63–68. DOI: 10.3103/S0027131417010084.
15. Kuchmenko T.A., Lvova L.V. 2019. A perspective on recent advances in piezoelectric chemical sensors for environmental monitoring and foodstuffs analysis. *Chemosensors*, 7 (3): 39. DOI: 10.3390/chemosensors7030039.
16. Shuba A.A., Kuchmenko T.A., Samoiloa E.I., Bel'skikh N.V. 2016. Selection of a piezoelectric sensor array for detecting volatile organic substances in water. *Moscow University Chemistry Bulletin*, 71: 68–75. DOI: 10.3103/S0027131416010156.
17. Hu Y., Cheng H. 2013. Water pollution during China's industrial transition. *Environmental Development*, 8: 57–73. DOI:10.1016/j.envdev.2013.06.001.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маслова Наталья Владимировна, преподаватель I категории Воронежского государственного университета инженерных технологий, г. Воронеж, Россия

Кочетова Жанна Юрьевна, доцент кафедры физики и химии Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natal'ya V. Maslova, Teacher of the first category of the Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

Zhanna Yu. Kochetova, Associate Professor of the Department of Physics and Chemistry of the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin», Voronezh, Russia