



Некрасова Л.П.

## Актуальные вопросы определения общего органического углерода в воде

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»  
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия

**Введение.** Общий органический углерод (ООУ) является обобщённым показателем, характеризующим загрязнение водных объектов органическими веществами. В соответствии с СанПиН 2.1.3864-21 для питьевой воды установлено нормативное значение содержания ООУ, равное 5 мг/дм<sup>3</sup>. В настоящее время для определения ООУ широко используются анализаторы общего углерода. Несмотря на свои несомненные достоинства, определение ООУ на анализаторах имеет ряд узких мест.

**Цель исследования** – анализ значений ООУ образцов воды различного происхождения, полученных при разных способах и условиях измерений.

**Материалы и методы.** Определение общего органического углерода выполняли на анализаторе общего углерода ТОС-V<sub>СНР</sub> (Shimadzu, Япония) в соответствии с руководством по эксплуатации, используя разностный метод (ТОС) и метод определения неудаляемого органического углерода (НПОС). Объекты исследования – вода природных источников и централизованной системы водоснабжения различных районов г. Москвы, стандартные растворы органических соединений.

**Результаты.** Установлено, что на анализаторе ТОС-V<sub>СНР</sub> при исследовании природной и питьевой воды наблюдается неполное раскрытие гуминовых и фульвовых соединений, которое не может быть установлено стандартными тестами, предусмотренными для анализаторов углерода. Отсутствие стандартизованных процедур дегазации газированной воды способно приводить к ошибкам определения ООУ в тысячи процентов.

**Ограничение исследования.** Предел определяемых значений ООУ составлял 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

**Заключение.** Для контроля правильности определения ООУ в питьевых, природных и сточных водах необходимы стандартные образцы гуминовых соединений, характерных для конкретной местности, с аттестованным значением ООУ. Требуется разработка и внедрение стандартной процедуры дегазации газированных проб при определении ООУ, поскольку бесконтрольность этого этапа анализа может приводить к неприемлемым ошибкам определения.

**Ключевые слова:** общий органический углерод; неудаляемый органический углерод; анализатор общего углерода; питьевая вода

**Соблюдение этических стандартов:** исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Некрасова Л.П. Актуальные вопросы определения общего органического углерода в воде. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 556–561. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-556-561>

**Для корреспонденции:** Некрасова Лариса Петровна, канд. хим. наук, вед. науч. сотр. отд. физико-химических исследований и экотоксикологии, 119121, Москва, Россия. E-mail: L.Nekrasova@cspnmz.ru

**Благодарности.** Автор выражает признательность специалистам по продукции Elementar В.С. Харитонову и М.В. Пещерскому за проведение измерений на анализаторе Vario TOC и консультации.

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование поддержано государственным контрактом «Проведение аналитического обзора для определения приоритетных химических загрязнителей в сточных водах мегаполиса и водных объектах, ими загрязнённых».

Поступила: 15.04.2022 / Принята к печати: 21.04.2022 / Опубликована: 31.05.2022

Larisa P. Nekrasova

## Relevant issues of determining total organic carbon in water

Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation

**Introduction.** Total organic carbon (TOC) is a generalized indicator characterizing the pollution of water bodies with organic substances. In accordance with SanPiN 2.1.3864-21 for drinking water, the standard value of TOC content is set equal to 5 mg/dm<sup>3</sup>. Currently, total carbon analyzers are widely used to determine TOC. Despite its undoubted advantages, the determination of TOC on analyzers has many bottlenecks.

**Purpose of the study.** Analysis of the TOC values of water samples of various origins, obtained using different methods and measurement conditions.

**Materials and methods.** Determination of TOC was carried out with a total carbon analyzer TOC-VCHP (Shimadzu) in accordance with the operation manual of the difference measurement method (TOC) and non-blown organic carbon (NPOC). The objects of study were the water of natural sources, the centralized water supply system of various districts of Moscow, standard solutions of organic compounds.

**Results.** It has been established that during the operation of the analyzer in the analysis of natural and drinking water, incomplete disclosure of humic and fulvic compounds is observed, which cannot be established by standard tests provided for carbon analyzers. The lack of standardized procedures for degassing sparkling water can lead to TOC errors of thousands of percent.

**Limitation.** The limit of determined TOC values was 0.5 mg/dm<sup>3</sup>.

**Conclusion.** To control the correctness of the determination of TOC in drinking, natural and waste waters, standard samples of humic compounds are required that are characteristic of a particular area with a certified TOC value. It is required to develop and implement a standard procedure for degassing gaseous samples when determining TOC, since the lack of control of this stage of analysis can lead to unacceptable errors in the determination.

**Keywords:** total organic carbon; non-removable organic carbon; total carbon analyzer; drinking water

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical Ethics committee or other documents, since this article does not contain any studies involving people as research objects.

**For citation:** Nekrasova L.P. Relevant issues of determining total organic carbon in water. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(5): 556–561. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-556-561> (In Russian)

**For correspondence:** Larisa P. Nekrasova, MD, PhD, DSci., Leading Researcher of the Department of Physical and Chemical Research and Ecotoxicology, Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: L.Nekrasova@cspnmz.ru

**Information about the author:** Nekrasova L.P., <https://orcid.org/0000-0002-1269-3161>

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study was supported by the state contract “Conducting an analytical review to identify priority chemical pollutants in the wastewater of the metropolis and water bodies polluted by them.” The author expresses his gratitude to V.S. Kharitonov and M.V. Peshchersky for measurements on the Vario TOC analyzer and consultations.

Received: April 1, 2022 / Accepted: April 12, 2022 / Published: May 31, 2022

## Введение

Общий органический углерод (ООУ) является обобщённым показателем, характеризующим загрязнение водных объектов органическими веществами [1, 2]. Интегральные показатели составляют основу необходимых сведений для принятия решений в сфере водопользования и водоподготовки [3]. Этот показатель находит широкое применение в мониторинге и оценке качества водных объектов [4–6], фармацевтической промышленности, в том числе для контроля чистоты производственных линий [7, 8], при изучении минерализации органических соединений под действием различных физико-химических и биологических факторов [9, 10]. Общий органический углерод входил в число параметров, обязательных для контроля качества и определения категории вод, расфасованных в ёмкости, в соответствии с СанПиН 2.1.4.1116-02<sup>1</sup>. Известно, что содержание ООУ в воде определяет концентрацию галогенсодержащих соединений, образующихся в ней после хлорирования [11]. Однако в России содержание ООУ в воде источников водоснабжения не нормировалось. В то же время предельное содержание ООУ в питьевой воде, подлежащей хлорированию, в США установлено на уровне 4 мг/дм<sup>3</sup>, в Японии – 3 мг/дм<sup>3</sup> [4]. Работы, проведённые в нашей стране для регламентирования содержания органического углерода в питьевой воде с учётом ПДК хлорорганических соединений, позволили рассчитать безопасное значение ООУ в питьевой воде на уровне 5 мг/дм<sup>3</sup> [12]. С принятием в 2021 г. нового СанПиН 2.1.3864-21<sup>2</sup> ООУ стал нормироваться для всех типов вод, кроме технической. Суммарная оценка содержания органических веществ может быть проведена путём определения ХПК, БПК или ООУ. Определение БПК и ХПК – длительные и трудоёмкие методы. Кроме того, они имеют ряд недостатков, которые подробно изложены в [1]. В последнее время на смену этим методом пришёл удобный автоматизированный метод определения ООУ [13, 14]. В экологическом мониторинге и гигиенических исследованиях ведущее место принадлежит методу каталитического, или высокотемпературного, сжигания. Несмотря на свои несомненные достоинства, определение ООУ на анализаторах имеет ряд узких мест, о которых и пойдёт речь в данной работе.

*Цель работы* – анализ значений общего органического углерода образцов воды различного происхождения, полученных в отличающихся условиях измерений.

## Материалы и методы

Исследование значений ООУ проводили на анализаторах общего углерода ТОС-V<sub>СНР</sub> (Shimadzu, Япония) и Vario ТОС (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия) в соответствии с руководством по определению разностным методом (ТОС) и путём измерения неудаляемого органического углерода (NPOC). В качестве объектов исследования были вода природных источников, централизованной системы водоснабжения различных районов г. Москвы, растворы органических соединений. Использовали гидрохинон (AppliChem, pure), п-бензохинон (Alfa Aesar, 98+%), стандартные образцы веществ: гидрофталат калия, КНР (ГСО 2216-81), пирокатехин ER-SPH 1 (СОП 0301-03, Экрос), резорцин ER-SPH 2 (СОП, 0302-03, Экрос); гуминовая кислота (Fluka, techn.), стандарт-титры карбоната и гидрокарбоната натрия. Для приготовления растворов использовали деионизованную воду, полученную с помощью установки ICW-3000 Millipore.

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в ёмкости. Контроль качества».

<sup>2</sup> СанПиН 2.1.3864-21 «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».

Раствор гуминовой кислоты для исследований получали следующим образом: готовили насыщенный раствор гуминовой кислоты в воде, затем фильтровали его через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Полученный раствор использовали для приготовления рабочих растворов. В образцах природной воды определяли общий органический углерод (исходные пробы) и растворённый органический углерод (РОУ) в отфильтрованных через фильтр 0,45 мкм пробах. Воду централизованных источников водоснабжения и растворы органических соединений не фильтровали. Для этих образцов ООУ = РОУ.

## Результаты

Основная часть измерений была выполнена на анализаторе общего углерода ТОС-V<sub>СНР</sub> (Shimadzu, Япония) в период с 2017 по 2022 г. В данном анализаторе используется каталитическое низкотемпературное сжигание пробы. Заложенные в программном обеспечении возможности позволяют определять общий углерод (ТС), общий неорганический углерод (ИТОС), общий органический углерод (ТОС), неудаляемый органический углерод (NPOC). В ходе определения ТС проба впрыскивается в реакционную трубку, заполненную катализатором и нагретую до температуры плюс 680 °С. В результате сгорания углеродсодержащих веществ образуется двуокись углерода. Продукты сгорания уносятся из реакционной трубки потоком газа-носителя, проходя через осушитель, где охлаждаются и освобождаются от водяных паров. Далее газовая смесь проходит через ловушку галогенов и поступает в ИК-детектор для измерения поглощения образовавшейся двуокиси углерода СО<sub>2</sub>. С выхода ИК-детектора снимается аналоговый сигнал, формирующий аналитический пик, площадь которого измеряется программой ТОС-Control. Определение неорганического углерода основано на измерении двуокиси углерода, выделяющейся в газовую фазу при реакции кислоты с карбонатами и гидрокарбонатами. Для перевода СО<sub>2</sub>, присутствующей в пробе, а также выделившейся при реакции с кислотой, используется продувка очищенным воздухом. NPOC определяют путём подкисления пробы до значения pH 2,0–3,0, продувки очищенным воздухом для удаления образовавшейся СО<sub>2</sub> и каталитического сжигания.

ГОСТ 31958-2012<sup>3</sup> предусматривает определение общего и растворённого органического углерода во всех типах вод. В соответствии с этим документом предусмотрено два метода определения общего органического углерода: разностный, который на анализаторе ТОС-V<sub>СНР</sub> может быть определён как путём независимого определения ТС и ИС и вычисления разности, так и с использованием программного обеспечения анализатора для метода ТОС, где это вычитание производится автоматически. Разностный метод не рекомендуется для водных объектов, где большая часть углерода находится в форме неорганического, из-за высокой погрешности определения. В табл. 1 представлены результаты определения ООУ методами ТОС и NPOC в воде Москвы-реки в разных точках отбора, характеризующейся разной степенью загрязнённости.

Стандартные образцы дают одинаковые значения РОУ, измеренные разными методами, в пределах ошибки определения. Результаты анализа образцов природной воды характеризуются большой погрешностью определения, особенно это относится к исходным пробам, содержащим нерастворимые частицы. Значения ООУ и РОУ природной воды, измеренные методами ТОС и NPOC, для одной и той же пробы, как правило, имеют статистически значимые различия. Исключением явился только самый загрязнённый образец, для которого получены хорошие результаты.

Природная вода и вода централизованного водоснабжения отличаются колебаниями значений ООУ. Так, по данным [4], значения ООУ в Волчихинском водохранилище за

<sup>3</sup> ГОСТ 31958-2012 Вода. Определение содержания общего и растворённого углерода.

Таблица 1 / Table 1

**Определение общего и растворённого органического углерода в природной воде методами ТОС и НРОС**  
**Determination of total organic carbon and dissolved organic carbon in natural water by TOC and NPOC methods**

Проба Sample	ООУ, мг/дм <sup>3</sup> Total organic carbon (TOC), mg/dm <sup>3</sup>		РОУ, мг/дм <sup>3</sup> Dissolved organic carbon (DOC), mg/dm <sup>3</sup>	
	ТОС	НРОС	ТОС	НРОС
	1	12.32 ± 0.03	28.93 ± 20.92	11.35 ± 0.11
2	12.84 ± 0.20	32.30 ± 17.97	5.46 ± 0.02	7.03 ± 0.09
3	10.75 ± 0.47	7.65 ± 0.25	5.85 ± 0.01	7.54 ± 0.13
4	5.91 ± 1.4	11.37 ± 0.65	9.57 ± 0.13	5.54 ± 0.04
5	10.42 ± 0.73	7.90 ± 0.14	7.93 ± 0.61	10.06 ± 1.06
6	12.08 ± 1.02	8.5 ± 0.06	7.14 ± 0.03	8.81 ± 0.08
7	8.21 ± 0.63	10.31 ± 1.63	–	7.73 ± 0.5
8	25.83 ± 0.85	26.89 ± 0.63	25.59 ± 1.73	26.04 ± 0.16
Стандартный раствор 10 мг/дм <sup>3</sup> Standard solution 10 mg/dm <sup>3</sup>	–	–	10.07 ± 0.11	9.96 ± 0.20

Примечание. Пробы 1–8 – природная поверхностная вода.  
 Note: Samples 1–8 – natural surface water.

трёхлетний период колебались в пределах от 5 до 14 мг/дм<sup>3</sup>, причём низкие значения приходились на зимний период, а высокие – на летний. Мониторинг значений ООУ природной воды и воды централизованного водоснабжения г. Москвы выявил тенденцию уменьшения значений ООУ до аномально низких значений. Так, интервал характерных значений ООУ 4–9 мг/дм<sup>3</sup> уменьшился до 1,5 мг/дм<sup>3</sup> и ниже. Проверка работы анализатора по гидрофталату калия ясности в происхождении нисходящего тренда не внесла. Анализатор без проблем прошёл поверку, в то время как его работоспособность вызывала вопросы. Причина в том, что в качестве вещества, подтверждающего работоспособность системы (SST), выбрано низкомолекулярное соединение: сахароза, гидрофталат калия, п-бензохинон, мочевины, тиомочевина, никотиновая кислота, сульфаниловая кислота, хлорид пиридина и гидрохлорид хинина. Проверка анализатора ТОС-V<sub>СНР</sub> по раскрываемости проб сахарозы, гидрофталата калия, 1,4-бензохинона, резорцина и гидрохинона свидетельствовала о полной работоспособности прибора, однако вопрос об аномально низких значениях ООУ в природной воде оставался открытым. Цель SST – оценка раскрываемости проб с различной окислительной

способностью. Для использования анализатора в фарминдустрии данный тест, безусловно, показателен, но не при использовании приборов в экологическом контроле. Даже при успешном прохождении SST нет гарантии, что содержащиеся в природной воде гуминовые и фульвовые соединения будут полностью разлагаться до СО<sub>2</sub> в условиях анализа. Гуминовые и фульвовые кислоты представляют собой высокомолекулярные соединения нерегулярного строения [15, 16], которые значительно сложнее поддаются сжиганию, чем низкомолекулярные, используемые для тестирования анализаторов углерода. Для проверки данной гипотезы были приготовлены растворы гуминовой кислоты в воде. Для растворов были измерены значения ООУ и оптическая плотность при 254 нм (табл. 2).

Коэффициент корреляции между измеренными значениями общего углерода (ТОС) растворов гуминовой кислоты и их оптической плотностью составляет 0,4564, что свидетельствует о неудовлетворительной раскрываемости гуминовых кислот в условиях определения в отличие от растворов гидрофталата калия (коэффициент корреляции равен 0,99996).

Были проведены сравнительные измерения методом ТОС раствора гуминовой кислоты и воды централизованного и нецентрализованного источников водоснабжения на различных анализаторах углерода (табл. 3). В ТОС-V<sub>СНР</sub> реализуется каталитическое сжигание пробы при заданной температуре, в Vario ТОС имеется функция изменения температуры. Измерения были проведены при температуре плюс 680 °С, соответствующей температуре сжигания в

Таблица 2 / Table 2

**Зависимость между общим углеродом (ТС) и оптической плотностью (D<sub>254</sub>) растворов гуминовой кислоты и гидрофталата калия**

Relationship between total carbon (TC) and optical density (D<sub>254</sub>) of solutions of humic acid and potassium hydrogen phthalate

Гуминовая кислота Humic acid			Гидрофталат калия Potassium hydrophthalate		
С, усл. ед. С, conv. unit	D <sub>254</sub>	ТС	С, мг/дм <sup>3</sup> С, mg/dm <sup>3</sup>	D <sub>254</sub>	ТС
1	0.043	2.00 ± 0.21	5	0.081	5.30 ± 0.08
2	0.090	3.39 ± 1.51	10	0.166	10.51 ± 0.13
3	0.135	2.46 ± 0.08	20	0.318	20.23 ± 0.28
4	0.180	3.02 ± 0.14	30	0.487	30.59 ± 0.31

Примечание. Использовался параметр ТС, поскольку поверка прибора по этому показателю осуществляется на растворах гидрофталата калия.

Note: The parameter TC was used, since the instrument is calibrated according to this indicator on solutions of potassium hydrophthalate.

Таблица 3 / Table 3

**Сравнение результатов определения ООУ на разных анализаторах**

Comparison of TOC determination results with different analyzers

Объект исследования Object of study	Vario TOC		ТОС-V <sub>СНР</sub>
	температура, °С / temperature, °С		
	+ 680	+ 850	+ 680
Природный источник Natural source	13.15	15.5	15.44
Водопроводная вода Tap water	6.43	5.34	6.18
Раствор гуминовой кислоты Humic acid solution	8.61	5.73	–

**Изменение содержания неорганического углерода при разных способах дегазации воды**  
**Changes in the content of inorganic carbon with different methods of water degassing**

Образец Sample	Обработка Sample processing	IC, мг/дм <sup>3</sup>	ТС, мг/дм <sup>3</sup>	ТОС, мг/дм <sup>3</sup>
1	Вскрытая бутылка. Встряхивание в течение 10 мин Opened bottle. Shaking for 10 minutes	436.3 ± 12.2	479.3 ± 27.8	43.0 ± 6.8
	УЗ-баня, 18 °С, 10 мин Ultrasonic bath, 18 °С, 10 minutes	369,5 ± 15.7	414,6 ± 17.1	–
	УЗ-баня, 40 °С, 30 мин Ultrasonic bath, 40 °С, 30 minutes	229.4 ± 9.2	218.2 ± 10.8	–
	УЗ-баня, 60 °С, 20 мин Ultrasonic bath, 60 °С, 20 minutes	144.6 ± 1.1	151.4 ± 0.8	–
	Кипячение в течение 2 мин Boiling 2 minutes	95.9 ± 1.9	–	–
	Вскрытая бутылка. Через трое суток Opened bottle. Three days later	109.1 ± 0.1	110.3 ± 10.6	1.2 ± 0.2
	2	Вскрытая бутылка. Встряхивание в течение 10 мин Opened bottle. Shaking for 10 minutes	392.8 ± 2.3	422.0 ± 52.2
Вскрытая бутылка. Через трое суток Opened bottle. Three days later		93.2 ± 0.2	96.9 ± 4.9	3.7 ± 0.2
3	Вскрытая бутылка. Встряхивание в течение 10 мин Opened bottle. Shaking for 10 minutes	397.2 ± 5.1	430.1 ± 11.2	32.9 ± 3.3
	Вскрытая бутылка. Через трое суток Opened bottle. Three days later	111.5 ± 0.9	112.3 ± 5.3	0

ТОС- $V_{\text{СНР}}$  непосредственно после замены катализатора, и при температуре плюс 850 °С (максимально возможной температуре для данной модели анализатора Elementar). Из представленных данных следует, что: а) гуминовые кислоты требуют высокой температуры для полного сгорания; б) более полное раскрытие проб воды происходит при более низкой температуре на приборе фирмы Shimadzu.

**Определение ООУ в пробах газированной воды.** Определение ООУ на анализаторах общего углерода происходит путём детектирования  $\text{CO}_2$ , поэтому тщательное освобождение от двуокиси углерода для корректного определения этого показателя приобретает решающее значение. Вместе с тем ГОСТ 31958-2012 не регламентирует процедуру дегазации пробы. В зависимости от типа воды избавиться от двуокиси углерода бывает иногда чрезвычайно сложно. Если в слабоминерализованной воде освобождение от углекислоты происходит удовлетворительно, то в газированной воде с минерализацией 400–1000 мг/дм<sup>3</sup> значительно сложнее. В табл. 4 представлены результаты определения неорганического углерода при различных способах дегазации пробы газированной воды, расфасованной в ёмкости, которая уже была проанализирована в двух аккредитованных лабораториях с неудовлетворительным результатом по показателю ООУ (полученные значения превышали 70 мг/дм<sup>3</sup>). Исходное значение IC в пробах составляло 503–510 мг/дм<sup>3</sup>.

## Обсуждение

На рынке представлен широкий ассортимент анализаторов, действие которых основано на разложении пробы до  $\text{CO}_2$  с последующим его детектированием неселективным инфракрасным детектором (табл. 5). Разложение пробы может осуществляться либо сжиганием (как в присутствии катализатора, так и без него), либо мокрым персульфатным методом, как правило, при воздействии ультрафиолетового излучения. Персульфатный метод является высокочувствительным и используется для незначительно загрязнённых образцов, главным образом в фармацевтике, энергетике, производстве полупроводников [14].

Отмечено, что высокочувствительные определения ООУ успешно осуществляются как мокрым методом, так и каталитическим сжиганием [7]. Полагают, что метод сжигания подходит для сложных матриц с высоким содержанием органических соединений [17, 18]. Сравнительные исследования применимости методов высокотемпературного сжигания и персульфатного метода с ультрафиолетовым воздействием в отношении окисления тугоплавких соединений показали близкие результаты [19, 20] и возможность использования как одного, так и другого для анализа природных вод [20].

Проведённые исследования окисления гуминовых и фульвокислот, лигнина, сульфамата метазина, карбамазепина, оранжевого G не выявили статистических различий в значениях ООУ, полученных разными методами [19]. Вместе с тем для галогенсодержащих соединений мокрый метод не обеспечивал полноты окисления. Авторы полагают, что главным критерием для выбора метода определения ООУ является не концентрация органического соединения, а его структура [19].

В работе [19] исследовали полноту сжигания природных соединений, таких как гуминовые и фульвокислоты, а также лигнин, на анализаторе ТОС- $V_{\text{СНР}}$  и выявили, что при концентрациях ООУ менее 12 мг/дм<sup>3</sup> достигается почти стопроцентное их окисление. Эти результаты не противоречат полученным в данной работе, несмотря на кажущееся несоответствие. Поскольку общепринятой является практика калибровки анализаторов по гидрофталату калия, который окисляется несопоставимо более эффективно, чем высокомолекулярные природные соединения, нет возможности зафиксировать тот момент, когда эффективность раскрытия гуминовых соединений уже снизилась, а гидрофталат калия всё так же эффективно окисляется. Показательным в этом смысле является исследование [21], посвящённое анализу донных отложений для определения содержания органического углерода. Правильность результатов контролировали анализом сертифицированного стандартного материала SRM MESS-3 (Канада) и ГСО 1757-80 ДО (терригенная глина).

Таблица 5 / Table 5

**Характеристики представленных на рынке анализаторов общего углерода**  
**Characteristics of total carbon analyzers presented on the market**

Наименование Name	Производитель Manufacturer	Тип разложения Decomposition type	Диапазон концентраций Concentrations range, ppm	Температура разложения, °C Decomposition temperature, °C
Aurora 1030W TOC	OI Analytical (США / USA)	Мокрое окисление Wet chemical oxidation (WCO)	0.02–30 000	100
Aurora 1030C TOC	OI Analytical (США / USA)	Каталитическое сжигание Catalytic combustion	0.05–30 000	680–950
Aurora 1030C TOC	OI Analytical (США / USA)	Сжигание, альтернативная некаталитическая загрузка High temperature combustion (HTC), alternative non-catalytic loading	0.05–30 000	900
Multy N/C 2100/2100S	Analytik Jena (Германия / Germany)	Высокотемпературное каталитическое сжигание Catalytic HTC	0–30 000	950
Multy N/C pharma HT	Analytik Jena (Германия / Germany)	Высокотемпературное каталитическое сжигание Catalytic HTC	0–10 000	950
Multy N/C UV HS	Analytik Jena (Германия / Germany)	Разложение методом мокрой химии под действием УФ (254 + 185 нм) в присутствии персульфата калия Wet chemical degradation under UV (254 + 185 nm) in the presence of potassium persulfate	0–10 000	–
TOC-300V	Mitsubishi Chemical Analytech CO, LTD (Япония / Japan)	Высокотемпературное каталитическое сжигание Catalytic HTC	0.1–1000	до 900
TOC-310V	Nittoseiko Analytech Co. Ltd. (Япония / Japan)	Каталитическое сжигание Catalytic combustion	1–10 000	550–1000
TOC-L <sub>CPH</sub>	Shimadzu (Япония / Japan)	Эффективное каталитическое сжигание Efficient catalytic combustion	0.004–30 000	680
TOC-V <sub>WP/WS</sub>	Shimadzu (Япония / Japan)	Мокрое окисление. УФ + персульфат калия Wet oxidation UV + potassium persulfate	0–3500	80
Vario TOC cube	Elementar Analysensysteme GmbH (Германия/Germany)	Высокотемпературное сжигание в среде O <sub>2</sub> HTC in O <sub>2</sub> environment	0.006–60 000	850–1200
Acquaray TOC	Elementar Analysensysteme GmbH (Германия/Germany)	Мокрое окисление. УФ + персульфат натрия Wet oxidation UV + sodium persulfate	0–20 000	–

## Заключение

В практике аналитического контроля для проверки правильности результатов анализа используются стандартные образцы с близким к исследуемой пробе составом. Основу ООУ в питьевой и природной воде составляют природные соединения. Однако в качестве стандарта ГОСТ 31958-2012 рекомендует гидрофталат калия, предложенный производителями анализаторов для проверки. Использование такого стандарта не позволяет оценить полноту окисления природных соединений в воде и своевременно регенерировать или

заменить катализатор. Поэтому для экологического мониторинга и гигиенических исследований требуется разработка и аттестация стандартных образцов на базе природных соединений, соответствующих составу анализируемых вод.

Поскольку задачей аккредитованной лаборатории является выполнение измерений в соответствии с нормативными документами, а не поиск нетривиальных путей преодоления возникающих проблем, требуются разработка и валидация процедуры дегазации газированных вод, обеспечивающая надёжное удаление двуокиси углерода из анализируемых проб.

## Литература

(п.п. 2, 11, 17–20 см. References)

- Дедков Ю.М. Современные проблемы аналитической химии сточных вод. *Российский химический журнал*. 2002; 46(4): 11–7.
- Золотов Ю.А. Новая парадигма аналитического контроля. *Экология и промышленность России*. 2006; (3): 38–40.
- Кузьмина Е.А., Кузнецов Е.О., Смалгина Н.В., Слышкина Т.В., Акрамов Р.Л., Брусицына Л.А. и др. Органический углерод: вопросы гигиенического регламентирования и гармонизации. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(6): 60–4.
- Петрова Т.Н., Гусева М.А. Динамика содержания и распределения органического вещества в воде Ладожского озера в течение многолетнего периода. В кн.: *Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Сборник трудов VI Всероссийского симпозиума с международным участием*. Барнаул; 2017: 181–7.
- Некрасова Л.П. Мониторинг загрязнения природной воды методом флуоресцентной спектроскопии. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 578–582. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-578-582>
- Харрисон Т. Измерение общего органического углерода в современных фармацевтических системах водоподготовки. *Аналитика*. 2016; (6): 88–92.
- Захарова А., Кравченко А., Гринштейн И. Контроль чистоты технологического оборудования методом определения общего органического углерода. *Аналитика*. 2014; (6): 74–80.
- Вершинин Н.О., Чайковская О.Н., Каретникова Е., Соколова И.В. Деградация гербицида 2,4-Д и 2,4-дихлорфенола в воде при действии ультрафиолетового излучения эксилламп. *Вода: химия и экология*. 2013; (4): 84–91.
- Некрасова Л.П., Малышева А.Г., Абрамов Е.Г. Трансформация фенола и двухатомных фенолов в поверхностной воде под действием природных физико-химических факторов. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(11): 1206–11. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11>
- Хлыстов И.А., Шукина Д.А., Кузьмина Е.А., Плотко Э.Г., Брусицына Л.А. Подходы к нормированию органического углерода и необходимость его обязательного контроля в питьевой воде. *Здоровье населения и среда обитания*. 2020; (9): 61–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-61-66>
- Ягов Г.В. К вопросу об анализе общего органического углерода в пробах воды. *Вода: химия и экология*. 2013; (12): 117–22.

## Original article

14. Цупрева В. Анализаторы общего органического углерода компании Shimadzu для исследования проб различной природы. *Аналитика*. 2013; (2): 82–7.
15. Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. *Гуминовые вещества. Строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль*. Киев: Наукова думка; 1995.
16. Линкевич Е.В., Юдина Н.В., Савельева А.В. Формирование гуминовых коллоидов в зависимости от pH среды водных растворов. *Журнал физической химии*. 2020; 94(4): 568–73. <https://doi.org/10.31857/S0044453720040093>
21. Овсяный Е.И., Коновалов С.К., Митропольский А.Ю., Котольянец Е.А. Органический углерод и карбонатность современных донных отложений Керченского пролива. *Геохимия*. 2015; (12): 1120–31. <https://doi.org/10.7868/S0016752515120079>

## References

1. Dedkov Yu.M. Modern problems of analytical chemistry of waste waters. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2002; 46(4): 11–7. (in Russian)
2. Visco G., Campanella L., Nobili V. Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements. *Microchem. J.* 2005; 79(1–2): 185–91. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2004.10.018>
3. Zolotov Yu.A. A new paradigm of analytical checkup: from componentwise analysis to estimation of integrated parameters. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2006; (3): 38–40. (in Russian)
4. Kuzmina E.A., Kuznetsov E.O., Smalgina N.V., Slyshkina T.V., Akramov R.L., Brusnitsyna L.A., et al. The organic carbon – issues of hygienic regulation and harmonization. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(6): 60–4. (in Russian)
5. Petrova T.N., Guseva M.A. Dynamics of the content and distribution of organic matter in the water of Lake Ladoga over a long period. In: *Organic Matter and Biogenic Elements in Inland Reservoirs and Marine Waters. Proceedings of the VI All-Russian Symposium with International Participation [Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy vo vnutrennikh vodoemakh i morskikh vodakh. Sbornik trudov VI Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem]*. Barnaul; 2017: 181–7. (in Russian)
6. Nekrasova L.P. Monitoring of natural water pollution by fluorescence spectroscopy. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(5): 578–582. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-578-582> (in Russian)
7. Harrison T. Measurement of the total organic carbon in modern pharmaceutical water systems. *Analitika*. 2016; (6): 88–92. (in Russian)
8. Zakharova A., Kravchenko A., Grinshteyn I. Purity control of process equipment by determination total organic carbon. *Analitika*. 2014; (6): 74–80. (in Russian)
9. Vershinin N.O., Chaykovskaya O.N., Karetnikova E., Sokolova I.V. Water degradation of 2,4-D and 2,4-dichlorophenol herbicides under UV emission from excimer sources. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2013; (4): 84–91. (in Russian)
10. Nekrasova L.P., Malysheva A.G., Abramov E.G. Transformation of phenol and diatomic phenols in surface water under the impact of natural physical and chemical factors. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(11): 1206–11. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11> (in Russian)
11. Wallace B., Purcell M., Furlong J. Total organic carbon analysis as a precursor to disinfection byproducts in potable water: oxidation technique considerations. *J. Environ. Monit.* 2002; 4(1): 35–42. <https://doi.org/10.1039/B106049J>
12. Khlstov I.A., Shchukina D.A., Kuz'mina E.A., Plotko E.G., Brusnitsyna L.A. Approaches to regulating organic carbon and the necessity of its obligatory monitoring in drinking water. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2020; (9): 61–6. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-61-66> (in Russian)
13. Yagov G.V. Analysis of total organic carbon in water samples. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2013; (12): 117–22. (in Russian)
14. Tsupreva V. Shimadzu total organic carbon analyzers for the different nature samples research. *Analitika*. 2013; (2): 82–7. (in Russian)
15. Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Humic Substances. Structure, Functions, Mechanism of Action, Protective Properties, Ecological Role [Guminovye veshchestva. Stroenie, funktsii, mekhanizm deystviya, protektornyye svoystva, ekologicheskaya rol']*. Kiev: Nauka dumka; 1995. (in Russian)
16. Linkevich E.V., Yudina N.V., Saveleva A.V. Formation of humic colloids aqueous solution at different pH values. *Zhurnal fizicheskoy khimii*. 2020; 94(4): 742–7. <https://doi.org/10.1134/S0036024420040093>
17. Byun J.D., Kim T.D., Lee S.K., Kim H.O., Kim J.L. Comparison of oxidation methods in analyzing total organic carbon. *J. Korean Soc. Environ. Anal.* 2009; 12(3): 172–6.
18. Jung H.J., Lee B.M., Lee K.H., Shin H.S., Hur J. Influences of environmental conditions and refractory organic matters on organic carbon oxidation rates measured by a high temperature combustion and a UV-sulfate methods. *J. Korean Soc. Water Environ.* 2016; 32(1): 98–107. <https://doi.org/10.15681/KSWE.2016.32.1.98>
19. Yoon G., Park S.M., Yang H., Tsang D.C.W., Alessi D.S., Baek K. Selection criteria for oxidation method in total organic carbon measurement. *Chemosphere*. 2018; 199: 453–8. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.074>
20. Wallace B., Purcell M., Furlong J. Total organic carbon analysis as a precursor to disinfection byproducts in potable water: Oxidation technique considerations. *J. Environ. Monit.* 2002; 4(1): 35–42. <https://doi.org/10.1039/b106049j>
21. Ovsyanuy E.I., Konovalov S.K., Mitropolskiy A.Yu., Kotolyants E.A. Organic carbon and carbonates in the recent bottom sediments of the Kerch strait. *Geokhimiya*. 2015; (12): 1123–33. <https://doi.org/10.7868/S0016752515120079>