





Исследование качества воды в процессе ее очистки с использованием ультрафильтрации методом дифференциально-сканирующей калориметрии





Игорь А. Саранов	¹	mr.saranov@mail.ru	 0000-0002-9510-5168
Сабухи И. Нифталиев	¹	niftaliev@gmail.com	 0000-0001-7887-3061
Василий В. Торопцев	¹	vsworkmail@bk.ru	 0000-0001-6448-5586
Игорь А. Кузнецов	¹	kuza7771995@gmail.com	 0000-0003-1780-960X

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Возросший интерес к технологии ультрафильтрации в последнее десятилетие вызван поиском новых методов очистки, позволяющих получать питьевую воду высокого качества, отвечающую современным нормативным требованиям. Современные схемы очистки воды используют установку ультрафильтрации перед обратным осмосом в схемах умягчения, опреснения и обессоливания воды для пищевого производства. Размер пор ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм. Используя ультрафильтрацию вместо традиционной схемы водоподготовки, можно получить воду с низким содержанием взвешенных и коллоидных веществ, повысить производительность и продолжительность службы обратноосмотических мембран. Схема водоподготовки может содержать следующие модули: фильтр грубой очистки; ультрафильтрационную установку, емкость буферную; смеситель; сборник воды; установку обратного осмоса; насосы. Метод дифференциально-сканирующей калориметрии использован для оценки качества воды в процессе ее очистки. Пробы воды охлаждали жидким азотом до -30 °С, а затем нагревали до 30 °С. На кривых ДСК фиксировали пики плавления кристаллов, рассчитывали тепловой эффект. В процессе очистки воды снижается значение теплового эффекта плавления замороженных образцов воды (от 515,1 до 261,2 Дж/г), значение температур начала (от 0,7 до -0,13 °С) и пика плавления кристаллов (от 7,45 до 4,27 °С). Небольшая разница между данными тепловых эффектов плавления образцов воды после грубой фильтрации и ультрафильтрации свидетельствует о том, что установка ультрафильтрации пропускает катионы и анионы, это сохраняет солевой баланс воды.

Ключевые слова: дифференциально-сканирующая калориметрия, ультрафильтрация, плавление, качество воды, очистка воды

Investigation of the quality of water in the process of its purification using ultrafiltration by the method of differential scanning calorimetry

Igor A. Saranov	¹	mr.saranov@mail.ru	 0000-0002-9510-5168
Sabukhi I. Niftaliev	¹	niftaliev@gmail.com	 0000-0001-7887-3061
Vasiliy V. Toroptsev	¹	vsworkmail@bk.ru	 0000-0001-6448-5586
Igor A. Kuznetsov	¹	kuza7771995@gmail.com	 0000-0003-1780-960X

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The increased interest in ultrafiltration technology in the last decade is caused by the search for new purification methods that allow obtaining high-quality drinking water that meets modern regulatory requirements. Modern water purification schemes use an ultrafiltration unit before reverse osmosis in softening, desalination and demineralization of water for food production. The pore size of ultrafiltration membranes ranges from 5 nm to 0.05–0.1 microns. Using ultrafiltration instead of the traditional water treatment scheme, makes it possible to obtain water with a low content of suspended and colloidal substances, increase the productivity and serviceability of reverse osmosis membranes. The water treatment scheme may contain the following modules: coarse filter; ultrafiltration unit, buffer tank; mixer; water container; reverse osmosis installation; pumps. The method of differential scanning microscopy is used to assess the quality of water during its purification. Water samples were cooled with liquid nitrogen to -30 °C and then heated to 30 °C. Crystals melting peaks were recorded on the DSC curves, and the thermal effect was calculated. During the water purification process, the value of the thermal effect of frozen water samples melting declines (from 515.1 to 261.2 J / g), the value of the temperatures at the onset (from 0.7 to -0.13 °C) and at the peak of crystal melting (from 7.45 up to 4.27 °C). The difference between the heat effect data for water samples after coarse filtration and ultrafiltration is small, which indicates that the ultrafiltration unit allows cations and anions to pass through, which preserves the salt balance of water.

Keywords: differential scanning calorimetry, ultrafiltration, melting, water quality, water purification

Введение

Основной схемой очистки воды – использование коагуляции, отстаивания, фильтрования и обеззараживания хлором. Для достижения более высокой степени очистки схема может дополняться озонированием, предварительным хлорированием, сорбционной обработкой с применением активного угля [1].

Мембранные способы разделения находят все более широкое применение как высокотехнологичный процесс для подготовки питьевой, технической и особо чистой воды [2]. Применение ультрафильтрации позволяет отказаться от таких технологических процессов, как отстаивание и фильтрование. С ее помощью можно добиться улучшения степени осветления воды без увеличения дозы коагулянта, а в ряде случаев – достичь

Для цитирования

Саранов И.А., Нифталиев С.И., Торопцев В.В., Кузнецов И.А. Исследование качества воды в процессе ее очистки с использованием ультрафильтрации методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 323–329. **Ошибка! Закладка не определена.** doi:10.20914/2310-1202-2021-1-323-329

For citation

Saranov I.A., Niftaliev S.I., Toroptsev V.V., Kuznetsov I.A. Investigation of the quality of water in the process of its purification using ultrafiltration by the method of differential scanning calorimetry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 323–329. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-323-329

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

снижения мутности, цветности и окисляемости без использования реагентов [3]. Возросший интерес к технологии ультрафильтрации вызван рядом причин и, в первую очередь, поиском новых методов очистки, позволяющих получать питьевую воду высокого качества, отвечающую современным нормативным требованиям [4].

Активное строительство ультрафильтрационных станций для водоснабжения населенных пунктов Великобритании, Германии и США инициировано введением в этих странах новых, более жестких, санитарных норм по микробиологическим показателям [5]. Повышение нормативных требований к качеству питьевой воды вызвано деградацией ее качества во многих подземных [6] и поверхностных [7,8] источниках.

Ультрафильтрация – это баромембранный процесс, заключающийся в том, что жидкость под давлением «продавливается» через полупроницаемую перегородку. Размер отверстий (пор) ультрафильтрационных мембран лежит в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм. Ультрафильтрационные мембраны эффективно извлекают из воды тонкодисперсные и коллоидные примеси, высокомолекулярные вещества, водоросли, одноклеточные микроорганизмы, цисты, бактерии и вирусы. Но при этом они практически не задерживают растворенные в воде соли, что позволяет сохранить естественный солевой состав природной воды. Для изготовления ультрафильтрационных мембран, в основном, используются полимерные вещества – ацетат целлюлозы, полисульфон, полиэтерсульфон, полиамид, полиимид, поливинилиденфторид, полиакрилонитрил и их производные [9], также известны керамические мембраны на основе оксидов алюминия, циркония, углерода [10]. Из зарубежных публикаций следует, что развитие ультрафильтрационных систем очистки воды происходит по нескольким ключевым направлениям [11, 12].

Первое направление – использование ультрафильтрации в качестве альтернативы традиционным методам обеззараживания: обычные ультрафильтрационные мембраны с размером пор 0,01–0,05 мкм служат надежным барьером для патогенных микроорганизмов и вирусов. Они позволяют достичь 99,99 %-го удаления вирусов и цист патогенных микроорганизмов, в том числе *Giardia* и *Cryptosporidium*, и практически 100 %-го задержания бактерий и простейших микроорганизмов [11].

Второе направление связано с предочисткой перед обратным осмосом в схемах умягчения, опреснения и обессоливания поверхностных вод для нужд питьевого водоснабжения, промышленности и энергетики [12]. В этом случае объем пор ультрафильтрационных мембран должен быть больше объема пор осмотических

мембран. Используя ультрафильтрацию вместо традиционной схемы водоподготовки, можно получить воду с очень низким содержанием взвешенных и коллоидных веществ и в результате повысить производительность и продолжительность службы обратноосмотических мембран, сократить частоту их химических промывок. Основным нормативный документ для изготовителей разливной и упакованной продукции – СанПиН 2.1.4.1116–02. В нем даются требования к питьевой бутилированной воде, а именно к минеральному составу, гигиенической безопасности, качеству воды, разлитой в отдельные емкости. Требования СанПиН бутилированной воды включают безопасность по различным показателям: 2 радиологических, 10 микробиологических, 55 токсикологических. С 2019 действует Технический Регламент ЕАЭС 044–2017, ужесточающий требования к безопасности расфасованной в тару природной, обработанной, купажируемой питьевой воды. Контроль качества воды проводится физико-химическими методами [13, 14].

Методы термического анализа широко используются для идентификации, определения температур плавления и кристаллизации различных веществ: неорганических [15], органических [16], жиров [17], пищевых продуктов [18].

Цель работы – контроль качества воды методом дифференциально-сканирующей калориметрии в процессе ее очистки от примесей.

Материалы и методы

Термический анализ проводили на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3, Jupiter, фирмы NETZSCH при охлаждении до -30 и последующем нагревании до +30 °C. Прибор предварительно калибровали по температуре и теплоте плавления высокочистых эталонных металлов [19]. Отобранные образцы воды помещали в тигель прибора синхронного термического анализа STA 449 F3. Исследование процессов плавления кристаллов воды методом ДСК проводились по методике, температурная программа которой представлена в таблица 1:

- алюминиевый тигель с каплей воды, помещался на сенсор установки, где фиксировалась его масса;

- рубашка камеры медной печи охлаждалась жидким азотом для того, чтобы температура в камере печи и на сенсоре опустилась до -30 °C (ниже предполагаемой температуры кристаллизации воды на 20–30 градусов);

- затем камеру печи нагревали до температуры 30 °C (на 20–25 градусов выше предполагаемой температуры плавления кристаллов), при этом фиксировали значения разности тепловых потоков тигля с образцом и эталонного тигля.

Таблица 1.

Температурная программа термической обработки образцов воды

Table 1.

Temperature program of heat treatment of water samples

Сегмент Segment	Температурный интервал, °C Temperature range, °C	Газ, He, мл/с Gas, He, ml/s	Скорость нагрева (охлаждения), К/мин. Heating(cooling) rate, K/min	Процесс Process
1	25–(-30)	20	2	Охлаждение Cooling
2	-30–30	20	2	Нагревание Heating

Результаты и обсуждение

Отбор проб осуществляли на одном из предприятий по производству бутилированной

воды, использующей мембранные технологии очистки (рисунок 1).

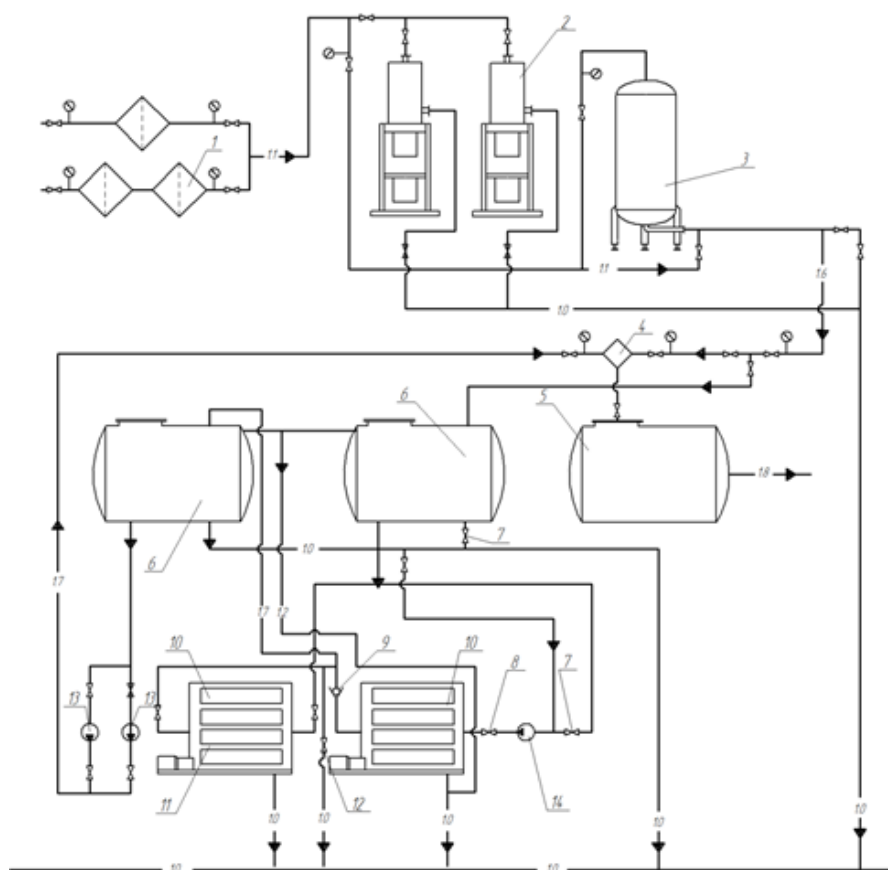


Рисунок 1. Схема водоподготовки: 1 – фильтр грубой очистки; 2 – ультрафильтрационная установка, 3 – емкость буферная; 4 – смеситель; 5, 6 – сборник; 7, 8 – вентиль; 9 – клапан; 10 – установка обратного осмоса; 11 – модуль; 12 – кран; 13, 14 – насос

Figure 1. Water treatment scheme: 1 – coarse filter; 2 – ultrafiltration unit, 3 – buffer tank; 4 – mixer; 5, 6 – collection; 7, 8 – valve; 9 – valve; 10 – reverse osmosis unit; 11 – module; 12 – tap; 13, 14 – pump

Водопроводная вода подается на участок водоподготовки в специальный резервуар большого объема, (запас воды должен быть предусмотрен на случай аварийного отключения воды) откуда насосом подается в фильтродержатель (1), содержащий фильтры с активированным углем, для предварительной очистки.

Затем фильтрованная вода подается насосом на ультрафильтрационную установку (2), где

происходит тонкая очистка воды от взвешенных примесей и направляется в накопительную емкость (3). Далее через смеситель (4) в накопительные емкости (5, 6). Оттуда – на установку обратного осмоса (10). Осмотическая вода поступает в промежуточный сборник и подается сразу на бутилирование и (или) приготовление напитков.

Образцы для исследований отбирали по схеме (рисунок 2).

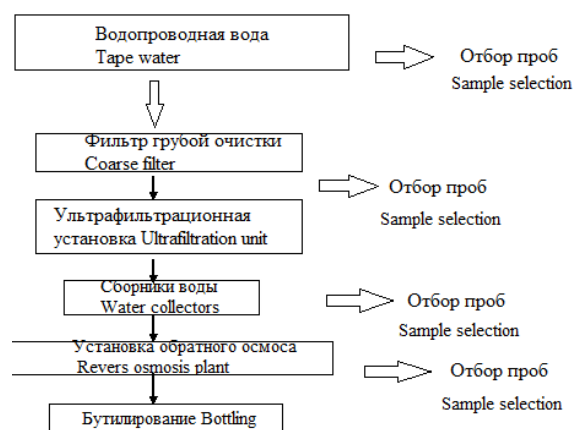


Рисунок 2. Отбор проб в схеме водоподготовки
Figure 2. Sampling in the water treatment scheme

При охлаждении воды в ней происходит зарождение и рост кристаллов [20], что сопровождается экзотермическим эффектом. При нагревании кристаллы плавятся, на кривых ДСК это отмечено эндотермическим эффектом (рисунок 3). Для уточнения температур пиков плавления с помощью программного обеспечения Proteus фирмы NETZSCH была построена кривая производной ДСК (пунктир, рисунок 3), на которой четко прослеживаются температуры начала и окончания эффекта. Эндотермический эффект характеризуется температурами начала, пиком (максимальной скорости плавления), суммарным тепловым эффектом, представленными в таблице 2. В процессе очистки воды наблюдаем уменьшение теплового эффекта процесса плавления, температур начала и пика плавления кристаллов.

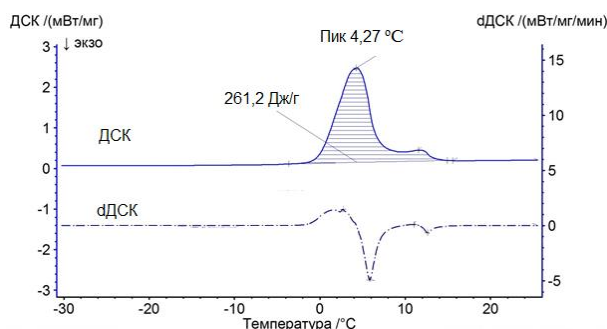


Рисунок 3. Кривые ДСК и dDSC при нагревании замороженного образца очищенной воды, подготовленной для бутлирования

Figure 3. DSC and dDSC curves when heating a frozen sample of purified water prepared for bottling

Следует отметить, что на кривой ДСК плавления кристаллов воды первой пробы отмечено два пика (рисунок 4, таблица 2). Возможно, что при кристаллизации этой воды происходит образование двух фаз, температура плавления которых различна.

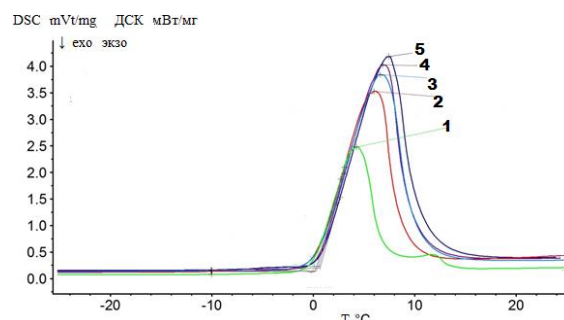


Рисунок 4. Комплексная термограмма плавления кристаллов воды в процессе ее очистки: 1. Проба очищенной воды, подготовленной для бутлирования; 2. Проба воды из Митрофановского источника (г. Воронеж); 3. Проба воды после ультрафильтрационной установки; 4. Проба воды после фильтра грубой очистки; 5. Проба водопроводной воды

Figure 4. Complex thermogram of melting water crystals during its purification: 1. Sample of purified water prepared for bottling; 2. Sample of water from the Mitrofanovsky spring (Voronezh); 3. Water sample after ultrafiltration unit; 4. Water sample after the coarse filter; 5. Sample of tap water

Температура замерзания раствора ниже, чем температура замерзания чистого растворителя. Следовательно, чем больше ионов веществ растворено в воде, тем ниже температура замерзания. Начало плавления кристаллов раствора происходит при более низкой температуре, чем начало плавления кристаллов чистого растворителя. Температура начала плавления кристаллов для образца водопроводной воды 0,7 °C; для образца воды, подготовленной к бутлированию -0,3 °C. В очищенной воде содержится меньше растворенных веществ, чем в водопроводной воде. Об этом же свидетельствует и величина теплового эффекта. Площадь пика прямо пропорциональна тепловому эффекту процесса. Размер теплового эффекта (площадь пика) зависит от количества теплоты, необходимой для плавления кристаллов. Чем больше по значению площадь пика, тем больше тепловой эффект процесса, и, значит, вода содержит больше примесей. Так, образец водопроводной воды имеет тепловой эффект плавления кристаллов 515,1 Дж/г, а образец очищенной воды 261,2 Дж/г.

Тепловой эффект плавления кристаллов воды после грубой фильтрации 419,9 Дж/г, после ультрафильтрации 407,8 Дж/г. Разница данных теплового эффекта невелика, это говорит о том, что установка ультрафильтрации пропускает ионы, это сохраняет солевой баланс воды. В таблице 2 для сравнения представлены результаты термического анализа воды из Митрофановского источника (г. Воронеж). Как видно из сравнения тепловых эффектов по количеству растворенных веществ эта вода (тепловой эффект 398,3 Дж/г) близка к пробе воды после ультрафильтрационной установки (тепловой эффект 407,8 Дж/г).

Таблица 2.

Результаты анализа воды методом ДСК. Процесс плавления льда

Table 2.

DSC water analysis results. Ice melting process

Пробы воды Water samples	Температура начала эффекта, T on set, °C	Температура пика, T peak, °C	Тепловой эффект, Дж/г Heat effect, J/g
1. Проба очищенной воды, подготовленной для бутилирования Sample of purified water prepared for bottling	Первый пик First peak -0,13	4,27	Тепловой эффект комплексного пика Heat effect of a complex peak 261,2
	Второй пик Second peak 11,03	12,60	
2. Проба воды из Митрофановского источника (г. Воронеж) A sample of water from the Mitrofanovsky spring (Voronezh)	0,48	6,29	398,3
3. Проба воды после ультрафильтрационной установки Water sample after ultra filtration unit	0,29	6,59	407,8
4. Проба воды после фильтра грубой очистки Water sample after coarse filter	0,49	6,87	419,9
5. Проба водопроводной воды Tap water sample	0,7	7,45	515,1

Закключение

Разработана экспериментальная методика анализа качества воды, основанная на термическом анализе проб при нагревании от -30 до +30 °C. Отмечено, что в процессе очистки воды

методами ультрафильтрации и обратного осмоса происходит уменьшение теплового эффекта процесса плавления, температур начала и пика плавления кристаллов.

Литература

- 1 Koelmans A.A., Nor N.H.M., Hermesen E., Kooi M. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality // Water Research. 2019. V. 155. P. 410–422. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054
- 2 Alkhouzaam A., Qiblawey H. Functional GO-based membranes for water treatment and desalination: Fabrication methods, performance and advantages. A review // Chemosphere. 2021. P. 129853. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129853
- 3 Yao M., Tijing L.D., Naidu G., Kim S.H. et al. A review of membrane wettability for the treatment of saline water deploying membrane distillation // Desalination. 2020. V. 479. P. 114312. doi: 10.1016/j.desal.2020.114312
- 4 Данилов-Данильян В., Розенталь О. Методология достоверной оценки качества воды. II. Общая вероятностная природа нормирования и оценивания состава воды // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 9. С. 58–63. doi: 10.18412/1816-0395-2020-9-58-63
- 5 Hasan H.A., Muhammad M.H. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources // Journal of Water Process Engineering. 2020. V. 33. P. 101035. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.101035
- 6 Yang P., Wang Y., Wu X., Chang L. et al. Nitrate sources and biogeochemical processes in karst underground rivers impacted by different anthropogenic input characteristics // Environmental Pollution. 2020. V. 265. P. 114835. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114835
- 7 Peng X., Dai Q., Ding G., Li C. Role of underground leakage in soil, water and nutrient loss from a rock-mantled slope in the karst rocky desertification area // Journal of Hydrology. 2019. V. 578. P. 124086. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124086
- 8 Rahmad S., Yusoff N.I.M., Fadzil S.M., Badri K.H. et al. The effects of polymer modified asphalt binder incorporating with chemical warm mix additive towards water quality degradation // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 279. P. 123698. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123698
- 9 Al Aani S., Mustafa T. N., Hilal N. Ultrafiltration membranes for wastewater and water process engineering: A comprehensive statistical review over the past decade // Journal of Water Process Engineering. 2020. V. 35. P. 101241. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101241
- 10 Yang K., Pan T., Zhao Q., Chen C. et al. Dual-function ultrafiltration membrane constructed from pure activated carbon particles via facile nanostructure reconstruction for high-efficient water purification // Carbon. 2020. V. 168. P. 254–263. doi: 10.1016/j.carbon.2020.06.083
- 11 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain M.A. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system // Journal of cleaner production. 2018. V. 179. P. 63–80. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.075
- 12 Fan G., Li Z., Yan Z., Wei Z. et al. Operating parameters optimization of combined UF/NF dual-membrane process for brackish water treatment and its application performance in municipal drinking water treatment plant // Journal of Water Process Engineering. 2020. V. 38. P. 101547. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101547
- 13 Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Mumtaz S. et al. Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies // Water Supply. 2020. V. 20. № 1. P. 28–45. doi: 10.2166/ws.2019.144
- 14 СанПиН 2.1.4.1116–02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.
- 15 Дребущак В.А., Шведенков Г.Ю. Термический анализ. 2015.

16 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain, M.A., Ismail W.W. Practical performance analysis of an industrial-scale ultrafiltration membrane water treatment plant // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2015. V. 46. P. 132-139. doi: 10.1016/j.jtice.2014.09.013

17 Саранов И.А., Кузнецов И.А., Кузнецова И.В., Магомедов Г.О. Исследование процессов плавления и кристаллизации жировых компонентов пралиновых масс // *Вестник ВГУИТ*. 2018. Т. 80. № 2. С. 323–327. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-323-327

18 Mateyeva A., Uazhanova R., Saranov I., Shakhov S. et al. Justification and development of the method for differentiation of "frozen-thawed" cycles of fish based on differential scanning calorimetry // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. V. 12. № 13. P. 3387-3394. doi: 10.36478/jeasci.2017.3387.3394

19 Bu F., Gao B., Shen X., Wang W. et al. The combination of coagulation and ozonation as a pre-treatment of ultrafiltration in water treatment // *Chemosphere*. 2019. V. 231. P. 349-356. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.154

20 Vu T.H., Choukroun M., Hodyss R., Johnson P.V. Probing Europa's subsurface ocean composition from surface salt minerals using in-situ techniques // *Icarus*. 2020. V. 349. P. 113746. doi: 10.1016/j.icarus.2020.113746

References

1 Koelmans A.A., Nor N.H.M., Hermesen E., Kooi M. et al. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*. 2019. vol. 155. pp. 410–422. doi: 10.1016/j.watres.2019.02.054

2 Alkhouzaam A., Qiblawey H. Functional GO-based membranes for water treatment and desalination: Fabrication methods, performance and advantages. A review. *Chemosphere*. 2021. pp. 129853. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129853

3 Yao M., Tijing L.D., Naidu G., Kim S.H. et al. A review of membrane wettability for the treatment of saline water deploying membrane distillation. *Desalination*. 2020. vol. 479. pp. 114312. doi: 10.1016/j.desal.2020.114312

4 Danilov-Danilyan V., Rosental O. Methodology for reliable assessment of water quality. II. General probabilistic nature of regulation and assessment of water composition. *Ecology and Industry of Russia*. 2020. vol. 24. no. 9. pp. 58–63. doi: 10.18412/1816-0395-2020-9-58-63 (in Russian).

5 Hasan H.A., Muhammad M.H. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. *Journal of Water Process Engineering*. 2020. vol. 33. pp. 101035. doi: 10.1016/j.jwpe.2019.101035

6 Yang P., Wang Y., Wu X., Chang L. et al. Nitrate sources and biogeochemical processes in karst underground rivers impacted by different anthropogenic input characteristics. *Environmental Pollution*. 2020. vol. 265. pp. 114835. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114835.

7 Peng X., Dai Q., Ding G., Li C. Role of underground leakage in soil, water and nutrient loss from a rock-mantled slope in the karst rocky desertification area. *Journal of Hydrology*. 2019. vol. 578. pp. 124086. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.124086.

8 Rahmad S., Yusoff N.I.M., Fadzil S.M., Badri K.H. et al. The effects of polymer modified asphalt binder incorporating with chemical warm mix additive towards water quality degradation. *Journal of Cleaner Production*. 2021. vol. 279. pp. 123698. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123698

9 Al Aani S., Mustafa T. N., Hilal N. Ultrafiltration membranes for wastewater and water process engineering: A comprehensive statistical review over the past decade. *Journal of Water Process Engineering*. 2020. vol. 35. pp. 101241. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101241.

10 Yang K., Pan T., Zhao Q., Chen C. et al. Dual-function ultrafiltration membrane constructed from pure activated carbon particles via facile nanostructure reconstruction for high-efficient water purification. *Carbon*. 2020. vol. 168. pp. 254-263. doi: 10.1016/j.carbon.2020.06.083

11 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain M.A. Advanced process control for ultrafiltration membrane water treatment system. *Journal of cleaner production*. 2018. vol. 179. pp. 63-80. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.075

12 Fan G., Li Z., Yan Z., Wei Z. et al. Operating parameters optimization of combined UF/NF dual-membrane process for brackish water treatment and its application performance in municipal drinking water treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*. 2020. vol. 38. pp. 101547. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101547

13 Ahmed U., Mumtaz R., Anwar H., Mumtaz S. et al. Water quality monitoring: from conventional to emerging technologies. *Water Supply*. 2020. vol. 20. no. 1. pp. 28-45. doi: 10.2166/ws.2019.144

14 SanPiN 2.1.41116-02. Drinking water. Hygienic requirements for the quality of water packaged in containers. Quality control. (in Russian).

15 Drebuschak V.A., Shvedenkov G.Yu. Thermal analysis. 2015. (in Russian).

16 Chew C.M., Aroua M.K., Hussain, M.A., Ismail W.W. Practical performance analysis of an industrial-scale ultrafiltration membrane water treatment plant. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2015. vol. 46. pp. 132-139. doi: 10.1016/j.jtice.2014.09.013

17 Saranov I.A., Kuznetsov I.A., Kuznetsova I.V., Magomedov G.O. Investigation of the processes of melting and crystallization of fatty components of praline masses. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 323–327. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-323-327


18 Mateyeva A., Uazhanova R., Saranov I., Shakhov S. et al. Justification and development of the method for differentiation of "frozen-thawed" cycles of fish based on differential scanning calorimetry. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. vol. 12. no. 13. pp. 3387-3394. doi: 10.36478/jeasci.2017.3387.3394

19 Bu F., Gao B., Shen X., Wang W. et al. The combination of coagulation and ozonation as a pre-treatment of ultrafiltration in water treatment. *Chemosphere*. 2019. vol. 231. pp. 349-356. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.154

20 Vu T.H., Choukroun M., Hodyss R., Johnson P.V. Probing Europa's subsurface ocean composition from surface salt minerals using in-situ techniques. *Icarus*. 2020. vol. 349. pp. 113746. doi: 10.1016/j.icarus.2020.113746

Сведения об авторах


Игорь А. Саранов к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mr.saranov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9510-5168>


Сабухи И. Нифталиев д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия), niftaliev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

Василий В. Торопцев к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия), vsworkmail@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

Игорь А. Кузнецов магистрант, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuza7771995@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1780-960X>

Вклад авторов

Игорь А. Саранов провел эксперимент

Сабухи И. Нифталиев обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Василий В. Торопцев консультация в ходе исследования


Игорь А. Кузнецов написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Igor A. Saranov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mr.saranov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9510-5168>


Sabukhi I. Niftaliev Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, niftaliev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

Vasiliy V. Toroptsev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, vsworkmail@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

Igor A. Kuznetsov master student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, kuza7771995@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1780-960X>

Contribution

Igor A. Saranov conducted an experiment

Sabukhi I. Niftaliev review of the literature on an investigated problem performed computations

Vasiliy V. Toroptsev consultation during the study

Igor A. Kuznetsov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2021	После редакции 19/02/2021	Принята в печать 01/03/2021
Received 22/01/2021	Accepted in revised 19/02/2021	Accepted 01/03/2021