

## ОЧИСТКА ГУМУСОВО-ГИДРОКАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВЫХ ВОД ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Б. Н. Житенев**

*К. т. н., доцент, профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов,  
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: gitenev@tut.by*

### Реферат

Отмечается, что с 90-х годов прошлого века в республике прослеживается тенденция к снижению объемов забора воды из поверхностных источников. Наблюдается увеличение использования подземной воды питьевого качества для производственных целей. Широкому применению поверхностных вод для технического водоснабжения препятствуют присутствующие в них органические и минеральные загрязнения. В статье рассматриваются усовершенствованные технологии очистки гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых поверхностных вод для технического водоснабжения промышленных предприятий.

**Ключевые слова:** поверхностные источники водоснабжения, стойкие примеси, гуминовые, фульвовые кислоты, металлоорганические комплексы, технологии очистки воды, озонирование, коагулирование, флотация.

### PURIFICATION OF HUMUS HYDROCARBONATE-CALCIUM WATER FOR TECHNICAL WATER SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

**B. N. Zhytsianiou**

### Abstract

It is noted that since the 90s of the last century, there has been a tendency in the republic to reduce the volume of water intake from surface sources. There is a tendency to increase the use of drinking quality underground water for industrial purposes. The widespread use of surface water for technical water supply is hindered by organic and mineral pollution present in them. The article discusses improved technologies for the treatment of humus-hydrocarbonate-calcium surface water for technical water supply of industrial enterprises.

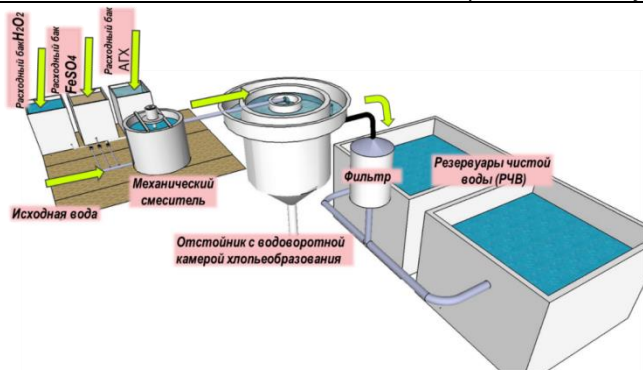
**Keywords:** surface water sources, persistent impurities, humic, fulvic acids, organometallic complexes, water treatment technologies, ozonation, coagulation, flotation.

### Введение

С 90-х годов прошлого века в республике прослеживается тенденция к снижению объемов забора воды из поверхностных источников. Наибольшее сокращение характерно для забора поверхностных вод, за счет которых в основном обеспечиваются нужды промышленности и теплоэнергетики. Величина забора воды из поверхностных источников по сравнению с 1990 годом уменьшилась в 3,2 раза и составила в 2015 году 572 млн м<sup>3</sup> [1]. Широкому использованию поверхностных вод для технического водоснабжения препятствуют присутствующие в них органические и минеральные загрязнения. Например, к воде, используемой в теплоэнергетике, предъявляются повышенные требования по жесткости, серосодержанию, корректировка которых на практике осуществляется в основном ионным обменом. Однако вода, поступающая на ионообменные фильтры, должна иметь содержание взвешенных веществ не более 8 мг/дм<sup>3</sup>, цветность не более 30 градусов и перманганатную окисляемость не более 7 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Такие требования обусловлены тем, что органические примеси способны быстро загрязнять дорогостоящие ионообменные смолы и эти процессы часто оказываются необратимыми, происходит так называемое «отравление смол». Таким образом, совершенствование технологических приемов удаления из природных вод органических загрязнений природного и техногенного происхождения позволит более широко использовать поверхностные источники для водоснабжения, в частности для водоснабжения промышленных предприятий. По составу растворенных в воде минеральных солей реки Брестской области относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу. Общая минерализация характеризуется средней степенью и изменяется в пределах 200–400 мг/дм<sup>3</sup>. Более низкая минерализация характерна для рек, протекающих по заболоченным и залесенным территориям, где максимальные показатели цветности составляют до 220 градусов и минимальные величины водородного показателя рН = 6,5 [2]. Цветность поверхностных вод обусловлена присутствием водного гумуса, состоящего в основном из гуминовых и фульвовых кислот, а также их металлоорганических комплексов. Гуминовые кислоты – это фракция гуминового вещества, нерастворимая в воде при кислотном рН (меньше 2) и растворимая при более высоких значениях рН. Гуминовые кислоты – это главный экстрагируемый компонент почвенного гумусового вещества, окрашены от темно-коричневого до черного цвета. Фульвокислоты – это фракция гуминового вещества, растворимая в воде при любых

значениях рН. Они окрашены от светло-желтого до желто-коричневого цвета [3]. Гуминовые и фульвокислоты, взятые вместе, называют «гумусовыми кислотами». Это наиболее подвижная и реакционноспособная компонента гуминовых веществ, активно участвующая в природных химических процессах [4]. Гуминовые и фульвокислоты, объединяемые под названием гумусовые кислоты, нередко составляют значительную долю органического вещества природных вод и представляют собой сложные смеси биохимически устойчивых высокомолекулярных соединений. Главным источником поступления гумусовых кислот в природные воды являются почвы и торфяники, из которых они вымываются дождевыми и болотными водами. Значительная часть гумусовых кислот вносится в водоемы вместе с пылью и образуется непосредственно в водоеме в процессе трансформации «органического вещества». Гумусовые кислоты в поверхностных водах находятся в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях, соотношения между которыми определяются химическим составом вод, рН, биологической ситуацией в водоеме и другими факторами [5]. Содержание гуминовых кислот в поверхностных водах обычно составляет десятки и сотни микрограммов в 1 дм<sup>3</sup> по углероду, достигая нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup> в природных водах лесных и болотистых местностей, придавая им характерный бурый цвет. В воде многих рек гуминовые кислоты не обнаруживаются. Фульвокислоты являются частью гумусовых кислот, не осаждающихся при нейтрализации из раствора органических веществ, извлеченных из торфов и бурых углей обработкой щелочью. Фульвокислоты представляют соединения типа оксикарбоновых кислот с меньшим относительным содержанием углерода и более выраженными кислотными свойствами. Хорошая растворимость фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами является причиной их более высоких концентраций и распространения в поверхностных водах. Содержание фульвокислот, как правило, превышает содержание гуминовых кислот в 10 раз и более [5].

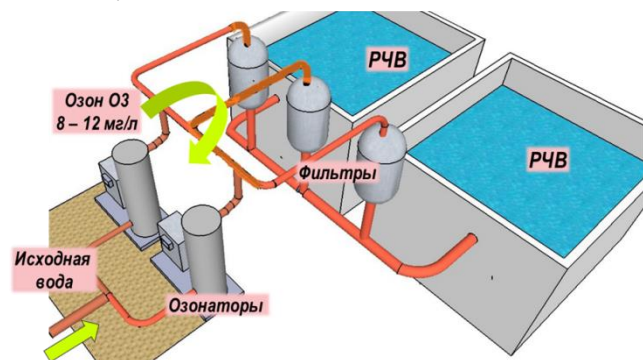
На кафедре водоснабжения, водоотведения и охрана водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет» были проведены многочисленные эксперименты по очистке гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод от органических примесей [6–15]. На основании этих исследований разработаны экспериментально подтвержденные технологии очистки поверхностных вод и определены области их применения (рисунок 1–4).



**Рисунок 1** – Технология очистки воды от ГК и ФК пероксидом водорода в присутствии металла с переменной валентностью

**Состав сооружений:** реагентное хозяйство, дозаторы, смеситель, камера хлопьеобразования, отстойник, фильтр, РЧВ.

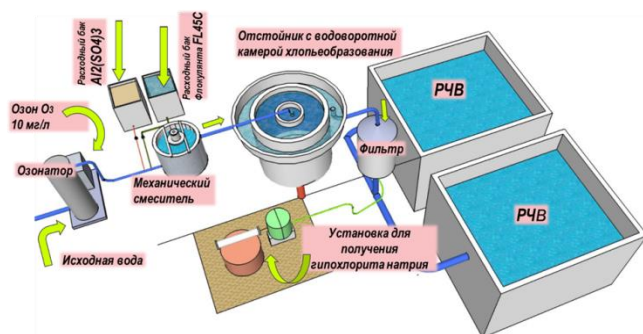
**Область применения:** очистка гумусовых гидрокарбонатно-кальциевых вод для производственного водоснабжения. Цветность: любая. Мутность – до 1500 мг/дм<sup>3</sup>. Цветность обусловлена преимущественно гуминовыми соединениями.



**Рисунок 2** – Технология очистки воды от гуминовых и фульвовых кислот прямым озонированием

**Состав сооружений:** механические префильтры грубой очистки, озонаторы, фильтры, РЧВ.

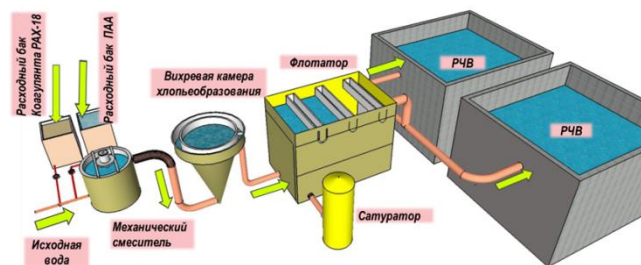
**Область применения:** очистка гумусовых гидрокарбонатно-кальциевых вод для производственного водоснабжения. Цветность: любая. Мутность – до 50 мг/дм<sup>3</sup>. Цветность обусловлена преимущественно фульватами, наличие устойчивых комплексов  $FeFR(OH)_2$  для деструкции которых требуется обработка окислителями.



**Рисунок 3** – Технология очистки воды от ГК и ФК озонированием с последующей двухступенчатой реагентной обработкой

**Состав сооружений:** озонаторы, реагентное хозяйство, дозаторы, смеситель, камера хлопьеобразования, отстойник, фильтр, РЧВ.

**Область применения:** очистка гумусовых гидрокарбонатно-кальциевых вод для производственного водоснабжения. Цветность: любая. Мутность – до 1500 мг/дм<sup>3</sup>, наличие устойчивых комплексов  $FeFR(OH)_2$  для деструкции которых требуется обработка окислителями.



**Рисунок 4** – Технология очистки воды от ГК и ФК напорной реагентной флотацией

**Состав сооружений:** реагентное хозяйство, дозаторы, смеситель, камера хлопьеобразования, флотатор, сатуратор, РЧВ.

**Область применения:** очистка гумусовых гидрокарбонатно-кальциевых вод для производственного водоснабжения. Цветность: любая. Мутность – до 50 мг/дм<sup>3</sup>. Цветность обусловлена преимущественно гуминовыми соединениями.

### Заключение

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что очистка природных вод от органических примесей является весьма актуальной проблемой, о чем свидетельствует количество публикаций по данной теме. Вместе с тем отсутствуют достаточные сведения по очистке гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод, которыми представлены большинство поверхностных вод Республики Беларусь.

Органические примеси, содержащиеся в гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых водах представлены стойкими примесями: гумусовыми кислотами: гуминовыми (ГК), фульвовыми кислотами (ФК), металлоорганическими комплексами.

Присутствие стойких органических примесей является проблемой использования воды для технического водоснабжения, поскольку оказывает негативное влияние на водоподготовку методом ионного обмена, который наиболее распространен в теплоэнергетике, машино-, приборостроении.

Разработана технология очистки воды коагулированием с предварительной обработкой пероксидом водорода в присутствии металлов переменной валентности, интенсифицирующая процесс обесцвечивания природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод. Введение 45 мг/дм<sup>3</sup> пероксида водорода позволяет снизить дозу алюминий гидроксид хлорида с 20 до 10 мг/дм<sup>3</sup> для достижения остаточной цветности 20 градусов, а введение 17 мг/дм<sup>3</sup> сульфата железа (II) позволяет уменьшить остаточную цветность с 30 до 15 градусов при дозе алюминий гидроксид хлорида 10 мг/дм<sup>3</sup>. Эффект обесцвечивания увеличивается в два раза при той же дозе коагулянта.

Обесцвечивание воды двухступенчатым озонированием с коагуляцией повышает эффективность коагуляции на 30–40 % за счет предварительного введения озона с дозой 5–15 мг/дм<sup>3</sup> и разрушения стабилизирующих гидратных оболочек, а также позволяет снизить остаточную после коагулирования цветность на 40–60 % за счет озонирования на второй ступени с дозой 5–15 мг/дм<sup>3</sup>.

Эффективность обесцвечивания поверхностных вод достигается 95–100 % путём применения технологии напорной реагентной флотации при 10 %-м соотношении расходов обрабатываемой воды и воздушно-воздушного раствора с концентрацией воздуха 90–110 мг/дм<sup>3</sup> за 8–10 минут, что позволяет отказаться от осветлителей и отстойников.

### Список цитированных источников

1. Состояние природной среды Республики Беларусь // Экол. бюл. 2003–2015 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2004. – 2016.
2. Гидрохимический состав речных вод Брестской области / А. А. Волчек [и др.] // Брестский географический вестник. – Том 2, выпуск 2. – 2002. – С. 85–71.
3. Weber, J. Properties of humic substances (tutorial materials) / J. Weber // Agricultural University of Wroclaw [Electronic resource]. – 2009. – Mode of access: <http://karnet.up.wroc.pl>. – Date of access: 29.08.2010.

4. Перминова, И. В. Гуминовые вещества — вызов химикам XXI века / И. В. Перминова // *Химия и жизнь*. — 2008. — № 1. — С. 143–150.
5. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии / И. В. Перминова [и др.] // *Зеленая химия в России*. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. — Том V. — С. 146–162.
6. Житенев, Б. Н. Теоретические предпосылки интенсификации обесцвечивания поверхностных вод Белорусского Полесья / Б. Н. Житенев, Т. П. Лычук // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2004. — № 2 (26): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. — С. 85–87.
7. Житенев, Б. Н. Повышение эффективности обесцвечивания и обезжелезивания поверхностных вод Беларуси для технического водоснабжения / Б. Н. Житенев, Т. П. Лычук // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2005. — № 3 (33): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. — С. 60–62.
8. Житенев, Б. Н. Кинетика удаления гуминовых кислот фотохимическим окислением, УФ излучением и пероксидом водорода / Б. Н. Житенев, Т. П. Лычук // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2006. — № 2 (38): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. — С. 56–59.
9. Бульская, И. В. Доочистка природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых поверхностных вод от органических примесей окислением / И. В. Бульская, Б. Н. Житенев // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2011. — № 2 (68): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. — С. 69–73.
10. Житенев, Б. Н. Экспериментальные исследования удаления органических примесей природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод коагулированием и каталитическим окислением в целях технического водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андреек // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2012. — № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. — С. 32–36.
11. Житенёв, Б. Н. Характеристика окислителей, применяемых при очистке природных гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод в целях технического водоснабжения / Б. Н. Житенёв, С. В. Андреек // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2013. — № 2 (74): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. — С. 33–35.
12. Житенёв, Б. Н. Удаление органических загрязнений поверхностных вод для производственного водоснабжения / Б. Н. Житенёв, М. А. Таратенкова // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2015. — № 2 (92): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. — С. 55–58.
13. Житенёв, Б. Н. Удаление железоорганических комплексов из воды поверхностных источников для водоснабжения / Б. Н. Житенёв, Е. В. Сук // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2016. — № 2 (98): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. — С. 65–67.
14. Житенёв, Б. Н. Обесцвечивание поверхностных вод коагулированием с предварительным озонированием для производственного водоснабжения / Б. Н. Житенёв, М. А. Таратенкова // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2016. — № 2 (98): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. — С. 67–70.
15. Житенёв, Б. Н. Обесцвечивание поверхностных вод напорной реагентной флотацией для предприятий энергетики / Б. Н. Житенёв, М. А. Таратенкова // *Вестник Брестского государственного технического университета*. — 2017. — № 2 (104): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. — С. 123–125.
3. Weber, J. Properties of humic substances (tutorial materials) / J. Weber // *Agricultural University of Wrocław* [Electronic resource]. — 2009. — Mode of access: <http://karnet.up.wroc.pl>. — Date of access: 29.08.2010.
4. Perminova, I. V. Guminovye veshchestva — vyzov himikam XXI veka / I. V. Perminova // *Himiya i zhizn'*. — 2008. — № 1. — S. 143–150.
5. Guminovye veshchestva v kontekste zelenoj himii / I. V. Perminova [i dr.] // *Zelenaya himiya v Rossii*. — M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2004. — Tom V. — S. 146–1626. Zhitenev, B. N. Teoreticheskie predposylki intensivifikacii obescvachivaniya poverhnostnyh vod Belorusskogo Poles'ya / B. N. Zhitenev, T. P. Lychuk // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2004. — № 2 (26): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i teploenergetika. — S. 85–87.
7. Zhitenev, B. N. Povyshenie effektivnosti obescvachivaniya i bez-zhelezivaniya poverhnostnyh vod Belarusi dlya tekhnicheskogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenev, T. P. Lychuk // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2005. — № 3 (33): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i teploenergetika. — S. 60–62.
8. Zhitenev, B. N. Kinetika udaleniya guminovyh kislot fotohimicheskim okisleniem, UF izlucheniem i peroksidom vodoroda / B. N. Zhitenev, T. P. Lychuk // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2006. — № 2 (38): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i teploenergetika. — S. 56–59.
9. Bul'skaya, I. V. Doochistka prirodnyh gumusovo-gidrokarbonatno-kal'cievyh poverhnostnyh vod ot organicheskikh primesej okisleniem / I. V. Bul'skaya, B. N. Zhitenev // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2011. — № 2 (68): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. — S. 69–73.
10. Zhitenev, B. N. Eksperimental'nye issledovaniya udaleniya organicheskikh primesej prirodnyh gumusovo-gidrokarbonatno-kal'cievyh vod koagulirovaniem i kataliticheskim okisleniem v celyah tekhnicheskogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenev, S. V. Andreyuk // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2012. — № 2: Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. — S. 32–36.
11. Zhitenyov, B. N. Harakteristika okislitelej, primenyayemyh pri ochildke prirodnyh gumusovo-gidrokarbonatno-kal'cievyh vod v celyah tekhnicheskogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenyov, S. V. Andreyuk // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2013. — № 2 (74): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. — S. 33–35.
12. Zhitenyov, B. N. Udaleniye organicheskikh zagryaznenij poverhnostnyh vod dlya proizvodstvennogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenyov, M. A. Taratenkova // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2015. — № 2 (92): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. — S. 55–58.
13. Zhitenyov, B. N. Udaleniye zhelezoorganicheskikh kompleksov iz vody poverhnostnyh istochnikov dlya vodosnabzheniya / B. N. Zhitenyov, E. V. Suk // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2016. — № 2 (98): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. — S. 65–67.
14. Zhitenyov, B. N. Obescvachivaniye poverhnostnyh vod koagulirovaniem s predvaritel'nym ozonirovaniem dlya proizvodstvennogo vodosnabzheniya / B. N. Zhitenyov, M. A. Taratenkova // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2016. — № 2 (98): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. — S. 67–70.
15. Zhitenyov, B. N. Obescvachivaniye poverhnostnyh vod napornoj reagentnoj flotaciej dlya predpriyatij energetiki / B. N. Zhitenyov, M. A. Taratenkova // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2017. — № 2 (104): Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. — S. 123–125.

#### References

1. Sostoyanie prirodnoj sredy Respubliki Belarus' // *Ekol. byul.* 2003–2015 gg. / Pod red. V. F. Loginova. — Minsk : Minsktipproekt, 2004. — 2016.
2. Gidrohimicheskij sostav rechnyh vod Brestskoj oblasti / A. A. Volchek [i dr.] // *Brestskij geograficheskij vestnik*. 2002. —Tom 2, vypusk 2. — Brest,— S. 85–71.

*Материал поступил 18.09.2022, одобрен 15.10.2022, принят к публикации 28.10.2022*