

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ И ГИДРОТЕХНИКИ

Обзорная статья
УДК 628.16

Современные фильтрующие материалы для очистки воды: свойства и направления применения

Татьяна Ильинична Дрововозова¹, Дарья Вячеславовна Мильченкова²,
Сергей Александрович Марьяш³, Сергей Николаевич Полубедов⁴

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

⁴Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²milchenkova.darya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7665-1366>

³smar-78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5561-9714>

⁴sergpolubed@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5652-0070>

Аннотация. Цель: характеристика современных фильтрующих материалов, их свойств и направлений применения. **Обсуждение.** Изменение гидрохимического состава природных вод за последние 50 лет привело к усложнению технологий их очистки. В результате многолетних исследований были изучены сорбционные свойства многих природных материалов, рекомендованных для очистки от различных компонентов-загрязнителей. В работе представлена классификация современных фильтрующих материалов по методам фильтрования, по происхождению фильтрующих загрузок, по их реакционной способности. Систематизированы фильтрующие загрузки и мембраны в зависимости от удаляемых загрязняющих веществ. Показано, что селективность фильтрующей загрузки зависит от размеров молекул удаляемых веществ. Для удаления взвешенных веществ различной крупности, а также бактерий и вирусов эффективно использовать сорбционные фильтрующие загрузки либо микрофильтрационные мембраны. Высокомолекулярные соединения эффективно удаляются на ультрамембране. С уменьшением размеров молекул, что в первую очередь относится к молекулам неорганических веществ, требуются соответствующие селективные фильтрующие загрузки и мембраны с размерами пор 10^{-3} – 10^{-4} мкм (нанофильтрация, обратноосмотическое фильтрование). Наиболее сложным процессом является удаление солеобразующих ионов, имеющих размеры порядка 0,01 нм ($1 \cdot 10^{-4}$ мкм). Для этих целей наиболее эффективно использовать ионообменные фильтрующие загрузки, а также обратноосмотические мембраны. **Выводы.** К важнейшим свойствам фильтрующих материалов относятся их селективность, механическая прочность и химическая стойкость по отношению к очищаемой воде, рабочий интервал температур. Важными технологическими параметрами являются возможность многократного применения загрузки в процессе фильтрования, ее утилизация после использования без переработки. Фильтрующие загрузки должны иметь относительно невысокую стоимость, характеризоваться отсутствием отрицательного воздействия на здоровье человека.

Ключевые слова: фильтрующие загрузки, селективность материала, мембраны, загрязняющие вещества, обратный осмос, качество воды

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 30 мая 2025 г.).

Для цитирования: Современные фильтрующие материалы для очистки воды: свойства и направления применения / Т. И. Дрововозова, Д. В. Мильченкова, С. А. Марьяш, С. Н. Полубедов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 96, № 2. С. 94–110.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION AND HYDRAULIC ENGINEERING

Review article

Modern filter materials for water purification: features and application

**Tatyana I. Drovovozova¹, Darya V. Milchenkova², Sergey A. Maryash³,
Sergey N. Polubedov⁴**

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

⁴Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹tid70.drovovozova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7799>

²milchenkova.darya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7665-1366>

³smar-78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5561-9714>

⁴sergpolubed@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5652-0070>

Abstract. Purpose: to characterize modern filter materials, their properties and applications. **Discussion.** Changes in the hydrochemical composition of natural waters over the past 50 years have complicated the technologies for their purification. As a result of multi-year research, the sorption properties of many natural materials recommended for purification from various pollutant components have been studied. The classification of modern filter materials by filtration methods, by the filter loads origin and by their reactivity is presented. Filter loads and membranes are systematized depending on the pollutants to be removed. It is shown that the selectivity of the filter load depends on the size of the substance molecules to be removed. Sorption filter loads or microfiltration membranes are effective in removing suspended solids of various sizes, as well as bacteria and viruses. High-molecular compounds are effectively removed on an ultra-membrane. With decreasing molecular sizes, which primarily applies to molecules of inorganic substances, appropriate selective filter loads and membranes with pore sizes of 10^{-3} – 10^{-4} microns (nanofiltration, reverse osmosis filtration) are required. The most complex process is the removal of salt-forming ions with sizes of about 0.01 nm ($1 \cdot 10^{-4}$ microns). For these purposes, the ion-exchange filter loads and reverse osmosis membrane are the most effective. **Conclusions.** The most important features of filter materials include their selectivity, mechanical strength, and chemical resistance to purified water, as well as the operating temperature range. Important technological parameters are the possibility of multiple application of the load in the filtration process and its disposal after application without recycling. Filter loads should be relatively inexpensive and have no negative impact on human health.

Keywords: filter loads, material selectivity, membranes, pollutants, reverse osmosis, water quality

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 30, 2025).

For citation: Drovovozova T. I., Milchenkova D. V., Maryash S. A., Polubedov S. N. Modern filter materials for water purification: features and application. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;96(2):94–110. (In Russ.).

Введение. К обострившимся современным проблемам природопользования относятся загрязнение и истощение водных ресурсов¹ [1]. Большинство крупных рек России используется как источник водоснабжения городов и сельских поселений, соответственно качество природной воды определяет социальное благополучие и состояние здоровья населения [1–6]. Большой объем воды ежегодно забирается из рек для нужд промышленности, энергетики, сельского хозяйства. Качество воды косвенно или напрямую влияет на технологические процессы и готовую продукцию. В связи с этим на оздоровление и восстановление природных водных объектов направлены различные федеральные и региональные программы. Так, например, на поддержание питьевого качества воды направлен стартовавший с 1 января 2025 г. Федеральный проект «Вода России» в рамках национального проекта «Экологическое благополучие»². В ряде исследований разработаны подходы к оценке уровня загрязнения водных объектов, способствующие разработке эффективных планов водоохранных мероприятий^{3,4}.

Изменение гидрохимического состава природных вод за последние 50 лет привело к усложнению технологий их очистки. Раньше для очистки воды использовали преимущественно такие природные материалы, как песок, гравий различной фракции. В настоящее время при высоком уровне загрязнения такими фильтрующими материалами достичь требуемого эф-

¹О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М. В. Ломоносова, 2023. 686 с.

²Федеральный проект «Вода России»: Указ Президента РФ В. В. Путина от 07.05.2024 № 309 [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/environmental_well-being/federalnyy-proekt-voda-rossii/?ysclid=m9r1s9a9js136902649 (дата обращения: 20.04.2025).

³Методические указания «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»: РД 52.24.643-2002: утв. Гидрохим. ин-том (ГХИ) Федер. службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) 03.12.02: введ. в действие с 01.01.04. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁴ГОСТ Р 58556-2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций [Электронный ресурс]. Введ. 2020-05-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

фекта очистки практически невозможно. Резкое развитие промышленных технологий, интенсификация сельского хозяйства привели к появлению большого количества поллютантов во всех компонентах окружающей среды и, как следствие, к резкому ухудшению состояния водных объектов. Вслед за ухудшением качества водных ресурсов начали развиваться и совершенствоваться технологии их очистки⁵ [7–11]. В результате многолетних исследований были изучены сорбционные свойства многих природных материалов, рекомендованных для очистки от различных компонентов-загрязнителей [12–15]. Было синтезировано большое количество синтетических материалов, обладающих сорбционными и ионообменными свойствами⁶ [16–19]. Для эффективной очистки воды необходимо обоснованно подбирать фильтрующие материалы и их комбинации.

В связи с выше изложенным, цель работы – дать характеристику современных фильтрующих материалов, их свойств и направлений применения.

Обсуждение. Объектами исследования являлись фильтрующие материалы, применяемые в технологиях очистки воды.

Все методы очистки, основанные на фильтровании воды от загрязняющих веществ, можно разделить на две большие группы: фильтрование через мембраны, фильтрование через фильтрующие загрузки [12–14, 20]. Классификация современных фильтрующих материалов представлена на рисунке 1.

Все фильтрующие загрузки различаются между собой такими техническими характеристиками, как прочность, степень однородности фракционного состава, механическая и химическая устойчивость. Фильтрующие загрузки не должны растворяться в воде, а также выделять в воду токсичные вещества [8].

⁵Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1974. 481 с.

⁶Сорбционно-фильтрующая загрузка для комплексной очистки воды: пат. 2786774 Рос. Федерация: МПК В01Д 39/16, С02F 1/42, В01J 41/12, В01J 39/05 / Сапрыкин В. В., Маслюков А. П. [и др.]; заявитель и патентообладатель БВТ БАРЬЕР РУС. № 2022123419; заявл. 01.09.22; опубл. 26.12.22; Бюл. № 36. 14 с. EDN: KKMTTR.

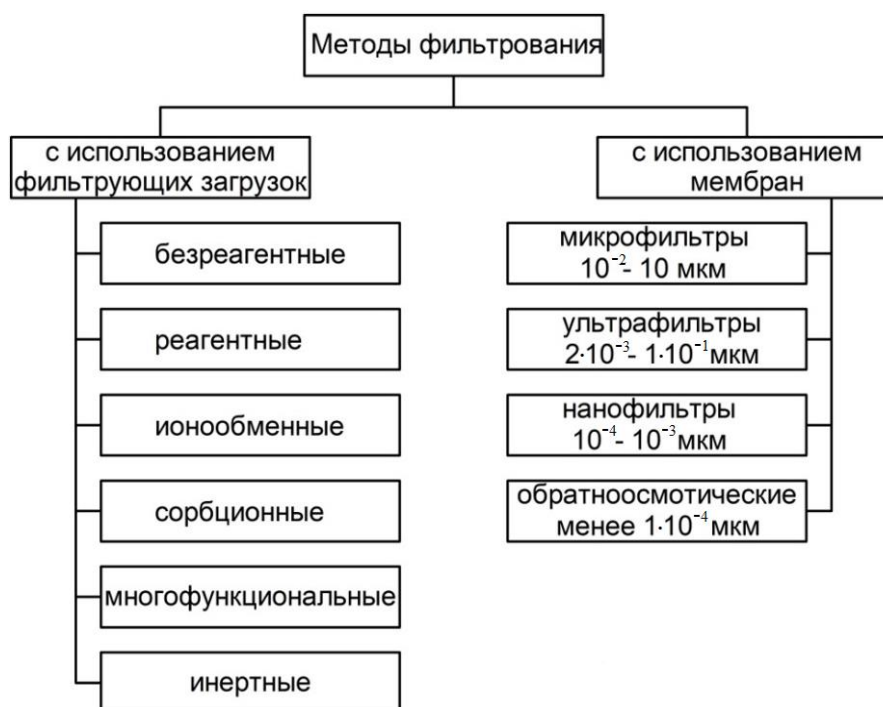


Рисунок 1 – Классификация фильтрующих загрузок и мембран

Figure 1 – Classification of filter loads and membranes

В сооружениях фильтрации воды используют тяжелые и плавающие загрузки природного происхождения (пески, антрацит, гранодиорит, вулканические шлаки и туфы, перлит, цеолиты) и искусственные (керамзит, шунгизит, активированные угли, ионообменные смолы) [8]. По поверхностной активности различают инертные (пассивные с точки зрения реакционной способности) фильтрующие материалы и с активной поверхностью – сорбенты и иониты (рисунок 2).

Предпочтение следует отдавать материалам, имеющим развитую удельную поверхность. Основные свойства фильтрующих материалов представлены в таблице 1.

Для осветления воды с применением реагентов обычно используют инертные материалы. Наибольшее распространение получили сорбенты цеолит и активированный уголь при безреагентной очистке или доочистке воды от высокодисперсных примесей, тяжелых металлов, органических соединений. Ионообменные фильтрующие загрузки необходимы для умягчения и обессоливания воды.

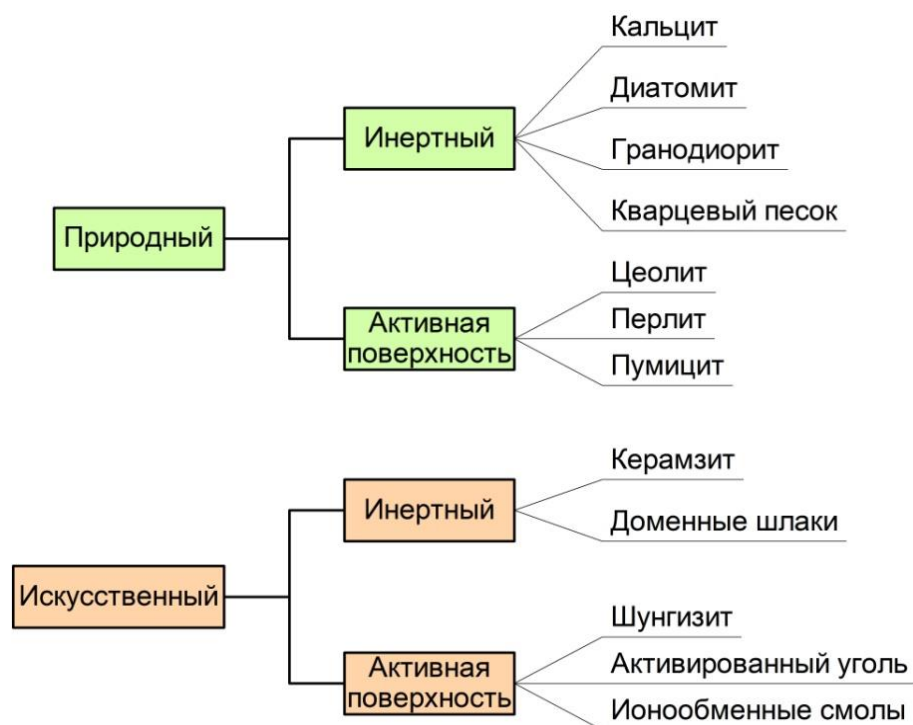


Рисунок 2 – Классификация фильтрующих загрузок по происхождению и реакционной способности

Figure 2 – Classification of filter loads by origin and reactivity

Таблица 1 – Свойства фильтрующих материалов⁷

Table 1 – Properties of filter materials⁷

Вид материала	Плотность, г/см ³	Пористость загрузки, %	Эффективный адсорбент
Кварцевый песок	2,6–2,65	40–42	Нет
Гидроантрацит дробленый	1,6–1,7	45	Да
Керамзит дробленый	1,2–1,5	58–62	Нет
Керамзит недробленый	1,7–1,8	45	Нет
Шунгизит дробленый	1,5–1,8	56–58	Да
Диатомит	0,96–1,25	72–92	Нет
Пумицит (пемза)	1,5	80	Да
Доменные шлаки	2,6	42–44	Да
Цеолит	2,18–2,5	25–28	Да
Активированный уголь	0,3–0,42	65	Да
Перлит	0,50–1,50	70–85	Да
Гранодиорит	2,68	41	Нет

⁷Основные свойства строительных материалов: метод. указания студентам всех форм обучения по направлению 270800.62 Строительство и специальности 271101.65 Строительство уникальных зданий и сооружений [Электронный ресурс] / сост. Н. И. Ханова, И. В. Конкина; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. 36 с. URL: https://bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/building_materials/851226.pdf (дата обращения: 20.04.2025).

Селективность фильтрующей загрузки зависит от размеров молекул удаляемых веществ. Для удаления взвешенных веществ различной крупности, обуславливающих мутность, цветность воды, а также бактерий и вирусов эффективно использовать сорбционные фильтрующие загрузки либо микрофильтрационные мембраны. Высокомолекулярные соединения эффективно удаляются на ультрамембране. С уменьшением размеров молекул, что в первую очередь относится к молекулам неорганических веществ, требуются соответствующие селективные фильтрующие загрузки и мембраны с размерами пор 10^{-3} – 10^{-4} мкм (нанофильтрация, обратноосмотическое фильтрование). Наиболее сложным процессом является удаление ионов Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , имеющих размеры порядка 0,01 нм ($1 \cdot 10^{-4}$ мкм). Для этих целей наиболее эффективно зарекомендовавшими себя являются ионообменные фильтрующие загрузки, а также обратноосмотические мембраны. Систематизация фильтрующих материалов в зависимости от удаляемых загрязняющих веществ представлена на рисунках 3, 4.



Рисунок 3 – Систематизация фильтрующих загрузок в зависимости от удаляемых загрязнителей

Figure 3 – Systematization of filter loads depending on the pollutants removed

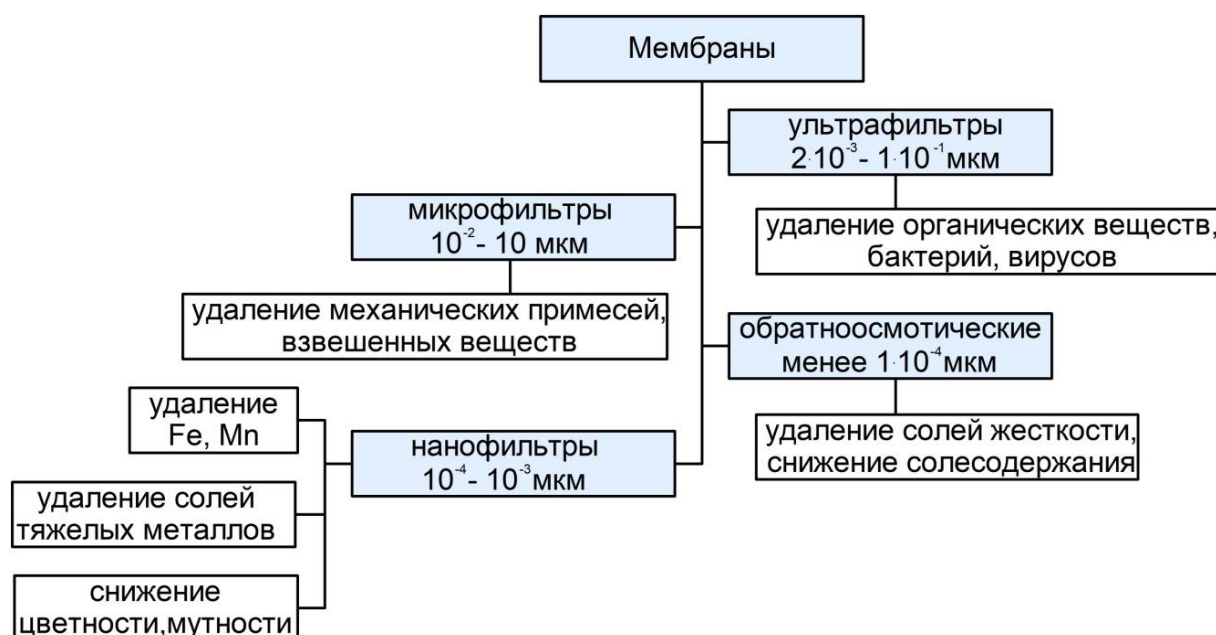


Рисунок 4 – Систематизация мембран в зависимости от удаляемых загрязнителей

Figure 4 – Classification of membranes depending on the pollutants removed

Все фильтрующие загрузки в зависимости от процесса регенерации можно разделить на три группы:

- восстанавливаются промывкой чистой водой;
- восстанавливаются промывкой химическими реагентами;
- имеют однократное использование.

У каждой группы фильтрующих загрузок есть свои достоинства и недостатки при их применении (таблица 2).

Таблица 2 – Преимущества и недостатки фильтрующих загрузок в зависимости от способа регенерации

Table 2 – Advantages and disadvantages of filter loads depending on the regeneration method

Вид фильтрующей загрузки в зависимости от способа регенерации	Достоинства	Недостатки
Промываются водой	Экологически безопасная эксплуатация. Относительно низкая стоимость. Доступность	Низкая сорбционная емкость загрузки
Промываются реактивами	Высокая сорбционная и ионообменная емкость загрузки. Длительный срок эксплуатации	Образование химически агрессивных промывных вод

Эксплуатация ионообменных загрузок требует расхода химических реагентов для поддержания их работоспособности. Для этого требуются 4 %-й раствор поваренной соли, либо 4 н. растворы кислоты (соляной, серной), или щелочного раствора (гидроксида натрия, карбоната натрия) в зависимости от вида ионообменной смолы^{8, 9, 10}. Требуемый промывной объем раствора химического реагента равен объему используемой ионообменной загрузки. Следовательно, недостатком применения ионообменных загрузок является необходимость регенерации кислотными или щелочными растворами и образование 4-х кратного объема промывной воды от объема загрузки с сильнокислым или сильнощелочным характером среды, требующих утилизации.

Многокомпонентные фильтрующие загрузки представляют собой загрузку, состоящую из пяти материалов природного и синтетического состава, как правило, это механическая смесь ионообменных смол и сорбционного материала (рисунок 5).

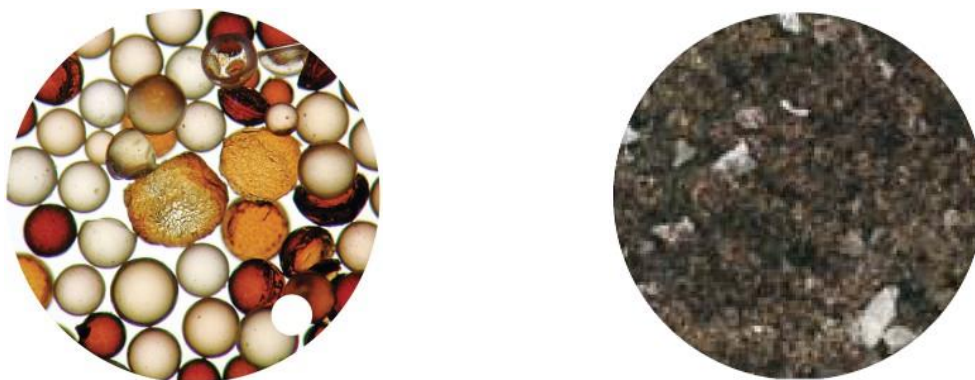


Рисунок 5 – Внешний вид многокомпонентных фильтрующих загрузок
Figure 5 – Exterior view of multi-component filter loads

Такой тип фильтрующей загрузки работает по Na-катионитовому механизму с одновременной адсорбцией тяжелых металлов, органических

⁸ГОСТ 20298-2022. Смолы ионообменные. Катиониты. Технические условия [Электронный ресурс]. Введ. 2023-03-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

⁹ГОСТ 20301-2022. Смолы ионообменные. Аниониты. Технические условия [Электронный ресурс]. Введ. 2023-03-01. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

¹⁰Котов Ю. А. Иониты и ионный обмен. Л.: Химия, 1980. 152 с.

соединений, мутности, цветности. Основным недостатком данной фильтрующей загрузки является невозможность ее регенерации ввиду разного компонентного состава. Следовательно, такая загрузка используется однократно. Применение очищенной на комбинированной загрузке воды ограничено, поскольку в ней увеличивается концентрация ионов натрия за счет ионного обмена, что недопустимо в случае превышения его предельно допустимой концентрации. При применении таковой загрузки необходимо регулярно контролировать концентрацию ионов натрия в очищенной воде.

Одним из эффективных способов очистки воды от загрязнителей разного компонентного состава является обратноосмотическая мембранная технология, не требующая затрат на реагенты для ее регенерации. Но для прохождения воды через мембрану с размерами пор менее 10^{-4} мкм требуется создать высокое давление, для чего используют насосы высокого давления, требующие больших затрат электроэнергии. Если концентрации ионов достаточно высокие, время работы мембран в межпромывной период уменьшается. В процессе очистки через обратноосмотическую мембрану образуется около 70 % пермеата и 30 % рассола, в котором остается 99 % ионов, задержанных мембраной. В последующем этот рассол требует утилизации. Образующийся пермеат – это высокоочищенная вода, которая по медицинским показаниям не рекомендуется для длительного употребления в медицинских и детских образовательных учреждениях. Регулярное употребление деминерализованной воды может способствовать развитию сердечно-сосудистых заболеваний и возникновению проблем с опорно-двигательной системой [21, 22]. Соответственно, прежде чем подавать очищенную на обратноосмотической установке воду потребителю, необходимо довести ее минеральный состав до нормативного значения. Кроме того, энергозатраты при использовании данной технологии составляют 0,3–1,0 кВт/м³ для вод, с концентрацией солей от 200 до 2000 мг/дм³, и до 2,5 кВт/м³ для воды, с концентрацией растворенных солей от 2000 до

45000 мг/дм³ [23, 24]. При осуществлении технологического процесса обратноосмотической очистки воды, необходимо строго соблюдать все технологические требования, а именно: предварительную очистку от всех механических примесей, высокомолекулярных органических соединений и т. п., в противном случае ресурс фильтрующих мембран резко сокращается.

На практике выбор фильтрующего материала определяется химическим составом очищаемой воды. В разрабатываемых технологиях применяют комплекс фильтрующих материалов, обеспечивающих высокую эффективность очистки воды при одновременном увеличении ресурса работы каждого из них.

Выводы. Современные технологии фильтрования располагают широким спектром фильтрующего материала различного происхождения, реакционной способности, адсорбционных свойств. Выбор фильтрующего материала зависит от ряда критериев, на первом месте – исходное качество очищаемой воды.

К важнейшим свойствам фильтрующих материалов относятся их селективность, механическая прочность и химическая стойкость по отношению к очищаемой воде, рабочий интервал температур. Важными технологическими параметрами фильтрующих материалов являются возможность многократного применения в процессе фильтрования, их утилизации после использования без переработки. Фильтрующие загрузки должны иметь относительно невысокую стоимость и доступность, характеризоваться отсутствием отрицательного воздействия на здоровье человека.

Список источников

1. Карманова А. А. Глобальная водная проблема // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2021. № 1. С. 64–70. EDN: UDRITV.
2. Складенко Г. Ю., Закруткин В. Е. Подземные воды Ростовской области: факторы загрязнения и оценка качества // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2019. № 4(204). С. 98–103. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-4-98-103. EDN: QIQXRH.
3. Назаренко О. В. Проблемы водоснабжения на территории Ростовской области // Теоретические и прикладные проблемы географической науки: демографический, со-

циальный, правовой, экономический и экологический аспекты: материалы междунар. науч.-практ. конф. В 2 т. Т. 1. Воронеж: Воронежский гос. педаг. ун-т, 2019. С. 290–293. EDN: TDOVJH.

4. Сазонов А. Д., Комаров Р. С., Нижельский М. С. Оценка эффективности водопользования в Ростовской области // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., г. Киров, 18 мая 2020 г. Кн. 1. Киров: Вятский гос. ун-т, 2020. С. 8–12. EDN: FPAASF.

5. Михеева И. В. Водные объекты и состояние водоснабжения на территориях Южного федерального округа // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2019»: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 22–23 окт. 2019 г. М.: Лик, 2019. С. 74–83. EDN: LRXMUI.

6. Влияние химических веществ питьевой воды на здоровье населения / Е. О. Маркова, Ю. П. Корякина, Н. Ф. Фаращук, М. А. Киган // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2023. Т. 22, № 1. С. 239–249. EDN: WBSRHP.

7. Анализ эффективности работы фильтрующих загрузок при обезжелезивании воды из подземных водоисточников для систем капельного орошения / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, О. В. Бочарникова, Е. В. Пустовалов, М. А. Денисова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2(62). С. 330–338. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-34. EDN: KKWWQJ.

8. Кутняшенко Ю. И., Парфенюк А. С. О качестве фильтрующих зернистых материалов и сорбентов для водоочистки // XXII Всеукраин. науч. конф. аспирантов и студентов «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» [Электронный ресурс]. Донецк: ДонНТУ, 2013. URL: <https://masters.donntu.ru/2013/fimm/kutnyashenko/library/article6.html?ysclid=m9qna5fgna614674806> (дата обращения 21.04.2025).

9. The Extraction of Activated Carbon from Aqueous Solutions in the Presence of Organic and Inorganic Compounds by the Electroflotation Method / A. M. Gaydukova, A. S. Nenashева, V. A. Kolesnikov, N. A. Vetlugin // Journal of Water Chemistry and Technology. 2021. Vol. 43, № 2. P. 116–122. DOI: 10.3103/S1063455X21020077.

10. Ненашева А. С., Гайдукова А. М., Ветлугин Н. А. Извлечение углеродных сорбентов из водных растворов электрофлотационным методом // International scientific review of the problems and prospects of modern science and education: Collection of scientific articles LXIX International correspondence scientific and practical conference. Boston: Problems and science, 2020. С. 20–24. DOI: 10.24411/2542-0798-2020-16901. EDN: MJZFZS.

11. Электрофлотационное извлечение малорастворимых соединений редкоземельных металлов в составе многокомпонентной смеси из водных растворов, содержащих хлорид-ионы / В. А. Колесников, А. М. Гайдукова, А. В. Колесников, А. Ф. Губин, Н. А. Ветлугин // Теоретические основы химической технологии, 2020. Т. 54, № 5. С. 584–591. EDN: EUSESD.

12. Влияние анионов солей Cl^- и SO_4^{2-} на величину сорбции Fe^{3+} на промышленных углеродных сорбентах / А. М. Гайдукова, Т. В. Конькова, А. Д. Стоянова, А. Д. Напрева // Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft. 2021. № 19-1. С. 56–58. DOI: 10.24412/2701-8369-2021-19-1-56-58. EDN: UPWFXO.

13. Дзюбо В. В. Влияние характеристик материала фильтрующей загрузки на эксплуатационные параметры фильтров водоочистки // Водоочистка. 2019. № 2. С. 52–60. EDN: YYOXQT.

14. Лисова Ю. А., Королева Е. А. Сравнение эффективности загрузочных материалов, применяемых в фильтрах на заключительных стадиях очистки воды / Сантехника, отопление, кондиционирование. 2020. № 12. С. 32–35. EDN: JDEXNF.

15. Ziembowicz S., Kida M. Limitations and future directions of application of the Fenton-like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review // *Chemosphere*. 2022. Vol. 296. Article number: 134041. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134041. EDN: FKXTWH.
16. Булыжев Е. М., Худобин Л. В. Высокопроизводительные намывные фильтры // *Водоочистка*. 2019. № 6. С. 51–62. EDN: ЕТРYPZ.
17. Русинова И. Н. Применение гранулированного сорбента на основе глауконита в народном хозяйстве [Электронный ресурс]. 2014. URL: https://www.rusnauka.com/2_KAND_2014/Ecologia/2_156184.doc.htm (дата обращения 24.04.2025).
18. The Assessment of Possibility of Use of Natural and Modified Aluminosilicates for Rehabilitation of Radioactive Contaminated Territories / A. V. Voronina, V. S. Semenishchev, A. A. Bykov, A. S. Kutergin, T. A. Nedobuh, N. D. Betenkov // *SCI Conference: International Conference on Ion Exchange (IEX 2012)*, Queens' College Cambridge, 19–21 Sept. 2012. 2012. P. 37–38.
19. Sorbents for radiocesium removal from natural water and soil / A. V. Voronina, A. S. Kutergin, V. S. Semenishchev, E. V. Nogovitsyna, A. F. Nikiforov / *Impact of Cesium on Plants and the Environment*. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. P. 231–252. DOI: 10.1007/978-3-319-41525-3_13. EDN: YUZUNH.
20. Федотов А. В., Григорьев В. С., Свитцов А. А. Технология мембранной очистки сточных вод с применением адсорбентов // *Химия и технология воды*. 2018. Т. 40, № 5. С. 564–572. EDN: VLITMD.
21. Влияние химических веществ питьевой воды на здоровье населения / Е. О. Маркова, Ю. П. Корякина, Н. Ф. Фаращук, М. А. Киган // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2023. Т. 22, № 1. С. 239–249. DOI: 10.37903/vsgma.2023.1.31. EDN: WBSRHP.
22. Самбурский Г. А. Как влияет качество питьевой воды на здоровье населения // *Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях*. 2021. № 12. С. 44–46. DOI: 10.33920/pro-4-2112-07. EDN: UIGHDO.
23. Захаров С. Л., Володин А. Х. Современные проблемы очистки водных растворов обратным осмосом // *Ползуновский вестник*. 2015. № 1. С. 15–17. EDN: TWGKCP.
24. Влияние рабочего давления на характеристики разделения обратноосмотических мембран из боросиликатного стекла / С. Л. Захаров, В. Н. Блиничев, А. В. Ефремов, А. С. Захаров // *Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58, № 12. С. 63–66. EDN: VAYJOV.

References

1. Karmanova A.A. 2021. *Global'naya vodnaya problema* [Global water problem]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy «Integral»* [International Journal of Applied Sciences and Technology “Integral”], no. 1, pp. 64–70, EDN: UDRITV. (In Russian).
2. Sklyarenko G.Yu., Zakrutkin V.E., 2019. *Podzemnye vody Rostovskoy oblasti: faktory zagryazneniya i otsenka kachestva* [Underground water of the Rostov region: features of pollution and quality]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Yestestvennye nauki* [Bullet. of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Series: Natural Sciences], no. 4(204), pp. 98–103, DOI 10.23683/0321-3005-2019-4-98-103, EDN: QIQXRH. (In Russian).
3. Nazarenko O.V., 2019. *Problemy vodosnabzheniya na territorii Rostovskoy oblasti* [Water supply problems in the Rostov region]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy geograficheskoy nauki: demograficheskiy, sotsial'nyy, pravovoy, ekonomicheskoy i ekologicheskoy aspekty: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. V 2 t. T. 1* [Theoretical and Applied Problems of Geographical Science: Demographic, Social, Legal, Economic and Environmental

Aspects: Proceed. Scientific-Practical Conference. In 2 vols., Vol. 1]. Voronezh, Voronezh State Pedagogical University, pp. 290-293, EDN: TDOVJH. (In Russian).

4. Sazonov A.D., Komarov R.S., Nizhelsky M.S., 2020. *Otsenka effektivnosti vodopol'zovaniya v Rostovskoy oblasti* [Assessment of the water use efficiency in Rostov region]. *Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti ikh resheniya: materialy XV Vseros. s mezhdunar. uchastiem nauch.-prakt. konf. Kn. 1.* [Ecology of the Native Land: Problems and Ways to Solve Them: Proceed. of the XV All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation. Book 1]. Kirov, Vyatka State University, pp. 8-12, EDN: FPAASF. (In Russian).

5. Mikheeva I.V., 2019. *Vodnye ob"ekty i sostoyanie vodosnabzheniya na territoriyakh Yuzhnogo federal'nogo okruga* [Water bodies and the state of water supply in the territories of the Southern Federal District]. *Tekhnologii ochistki vody «TEKHNOVOD-2019»: materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Technologies of Water Treatment “TEKHNOVOD-2019”: Proceed. of the XII International Scientific-Practical Conference]. Moscow, Lik Publ., pp. 74-83, EDN: LRXMUI. (In Russian).

6. Markova E.O., Koryakina Yu.P., Farashchuk N.F., Keegan M.A., 2023. *Vliyanie khimicheskikh veshchestv pit'evoy vody na zdorov'e naseleniya* [Influence of drinking water chemical substances on public health]. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii* [Bullet. of Smolensk State Medical Academy], vol. 22, no. 1, pp. 239-249, EDN: WBSRHP. (In Russian).

7. Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Bocharnikova O.V., Pustovalov E.V., Denisova M.A., 2021. *Analiz effektivnosti raboty fil'truyushchikh zagruzok pri obezhezhelevanii vody iz podzemnykh vodoistochnikov dlya sistem kapel'nogo orosheniya* [Analysis of the efficiency of filter loads for deferrization of water from underground water sources for drip irrigation systems]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 2(62), pp. 330-338, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-34, EDN: KKWWQJ. (In Russian).

8. Kutnyashenko Yu.I., Parfenyuk A.S., 2013. *O kachestve fil'truyushchikh zernistyykh materialov i sorbentov dlya vodoочistki* [On the quality of filter granular materials and sorbents for water purification]. *XXII Vseukrainskaya nauch. konf. aspirantov i studentov «Okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov»* [XXII All-Ukrainian Scientific Conference of Postgraduates and Students “Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources”]. Donetsk, DonNTU. available: <https://masters.donntu.ru/2013/fimm/kutnyashenko/library/article6.html?ysclid=m9qna5fgna614674806> [accessed 21.04.2025]. (In Russian).

9. Gaydukova A.M., Nenasheva A.S., Kolesnikov V.A., Vetlugin N.A., 2021. The Extraction of Activated Carbon from Aqueous Solutions in the Presence of Organic and Inorganic Compounds by the Electroflotation Method. *Journal of Water Chemistry and Technology*, vol. 43, no. 2, pp. 116-122, DOI: 10.3103/S1063455X21020077.

10. Nenasheva A.S., Gaidukova A.M., Vetlugin N.A., 2020. *Izvlechenie uglerodnykh sorbentov iz vodnykh rastvorov elektroflotatsionnym metodom* [Extraction of carbon sorbents from aqueous solutions by electroflotation method]. *International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: Collection of Scientific Articles LXIX International Correspondence Scientific and Practical Conference*. Boston, Problems and Science Publ., pp. 20-24, DOI: 10.24411/2542-0798-2020-16901, EDN: MJZFS. (In Russian).

11. Kolesnikov V.A., Gaidukova A.M., Kolesnikov A.V., Gubin A.F., Vetlugin N.A., 2020. *Elektroflotatsionnoye izvlecheniye malorastvorimykh soedineniy redkoze-mel'nykh metallov v sostave mnogokomponentnoy smesi iz vodnykh rastvorov, soder-zhashchikh khlorid-iony* [Electroflotation extraction of sparingly soluble rare-earth compounds in a multicomponent mixture from aqueous solutions containing chloride ions]. *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Technology], vol. 54, no. 5, pp. 584-591, EDN: EUSED. (In Russian).

12. Gaidukova A.M., Konkova T.V., Stoyanova A.D., Napreeva A.D., 2021. *Vliyanie anionov soley Cl^- i SO_4^{2-} na velichinu sorbtzii Fe^{3+} na promyshlennyykh uglerodnykh sorbentakh* [Effect of anions of Cl^- and SO_4^{2-} – salts on the value of Fe^{3+} sorption on industrial carbon sorbents]. *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*, no. 19-1, pp. 56-58, DOI: 10.24412/2701-8369-2021-19-1-56-58, EDN: UPWFXO. (In Russian).
13. Dzyubo V.V., 2019. *Vliyanie kharakteristik materiala fil'trov vodoochistki* [Influence of characteristics of material of the filtering loading on operating parameters of filters of water purification]. *Vodoochistka* [Water Treatment], no. 2, pp. 52-60, EDN: YYOXQT. (In Russian).
14. Lisova Yu.A., Koroleva E.A., 2020. *Sravnenie effektivnosti zagruzochnykh materialov, primenyaemykh v fil'trakh na zaklyuchitel'nykh stadiyakh ochistki vody* [Comparison of the efficiency of loading materials used in filters at the final stages of water purification]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* [Plumbing, Heating and Air Conditioning], no. 12, pp. 32-35, EDN: JDEXNF. (In Russian).
15. Ziembowicz S., Kida M., 2022. Limitations and future directions of application of the Fenton-like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, vol. 296, pp. 134041, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134041, EDN: FKXTWH.
16. Bulyzhev E.M., Khudobin L.V., 2019. *Vysokoproizvoditel'nye namyvnye fil'try*. [High-performance precoat filters]. *Vodoochistka* [Water Purification], no. 6, pp. 51-62, EDN: ETPYPZ. (In Russian).
17. Rusinova I.N., 2014. *Primenenie granulirovannogo sorbenta na osnove glaukonita v narodnom khozyaystve* [The use of granulated sorbent based on glauconite in people's economy]. available: https://www.rusnauka.com/2_KAND2014/Ecologia/2_156184.doc.htm [accessed 24.04.2025]. (In Russian).
18. Voronina A.V., Semenishchev V.S., Bykov A.A., Kutergin A.S., Nedobuh T.A., Betenekov N.D., 2012. The Assessment of Possibility of Use of Natural and Modified Alumino-silicates for Rehabilitation of Radioactive Contaminated Territories. *SCI Conference: International Conference on Ion Exchange (IEX 2012)*, pp. 37-38.
19. Voronina A.V., Kutergin A.S., Semenistchev V.S., Nogovitsyna E.V., Nikiforov A.F., 2017. Sorbents for radiocesium removal from natural water and soil. Impact of Cesium on Plants and the Environment. Switzerland: Springer International Publ., pp. 231-252. DOI: 10.1007/978-3-319-41525-3_13, EDN: YUZUNH.
20. Fedotov A.V., Grigoriev V.S., Svitsov A.A., 2018. *Tekhnologiya membrannoy ochistki stochnykh vod s primeneniem adsorbentov* [Technology of membrane wastewater treatment using adsorbents]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], vol. 40, no. 5, pp. 564-572, EDN: VLITMD. (In Russian).
21. Markova E.O., Koryakina Yu.P., Farashchuk N.F., Kigan M.A., 2023. *Vliyanie khimicheskikh veshchestv pit'evoy vody na zdorov'e naseleniya* [Influence of drinking water chemical substances on public health]. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii* [Bulet. of Smolensk State Medical Academy], vol. 22, no. 1, pp. 239-249, DOI: 10.37903/vsgma.2023.1.31, EDN: WBSRHP. (In Russian).
22. Sambursky G.A., 2021. *Kak vliyaet kachestvo pit'evoy vody na zdorov'e naseleniya* [How does the quality of drinking water affect public health]. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti na promyshlennykh predpriyatiyakh* [Labor Protection and Safety Procedure at the Industrial Enterprises], no. 12, pp. 44-46, DOI: 10.33920/pro-4-2112-07, EDN: UIGHDO. (In Russian).
23. Zakharov S.L., Volodin A.Kh., 2015. *Sovremennyye problemy ochistki vodnykh rastvorov obratnym osmosom* [Modern problems of purification of water solutions by reverse osmosis]. *Polzunovsky Vestnik* [Polzunovsky Bulet.], no. 1, pp. 15-17, EDN: TWGKCP. (In Russian).

24. Zakharov S.L., Blinichev V.N., Efremov A.V., Zakharov A.S., 2015. *Vliyanie rabocheho davleniya na kharakteristiki razdeleniya obratnoosmoticheskikh membran iz borosilikatnogo stekla* [Influence of operating pressure on the separation characteristics of reverse osmosis membranes made of borosilicate glass]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Chemistry and Chemical Technology], vol. 58, no. 12, pp. 63-66, EDN: VAYJOV. (In Russian).

Информация об авторах

Т. И. Дрововозова – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, tid70.drovovozova@yandex.ru, Web of Science ResearcherID: ABH-4873-2020, ORCID ID: 0000-0002-8724-7799;

Д. В. Мильченкова – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, milchenkova.darya@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-7665-1366;

С. А. Марьяш – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, smar-78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5561-9714;

С. Н. Полубедов – доцент, кандидат технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, sergpolubed@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5652-0070.

Information about the authors

T. I. Drovovozova – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, tid70.drovovozova@yandex.ru, Web of Science ResearcherID: ABH-4873-2020, ORCID ID: 0000-0002-8724-7799;

D. V. Milchenkova – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, milchenkova.darya@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-7665-1366;

S. A. Maryash – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, smar-78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5561-9714;

S. N. Polubedov – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, sergpolubed@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5652-0070.

Вклад авторов: Т. И. Дрововозова – формирование основной концепции, целей и задач работы, формулирование выводов, участие в написании статьи. Д. В. Мильченкова – анализ существующих современных фильтрующих загрузок, участие в написании статьи. С. А. Марьяш – обзор свойств и реакционной способности фильтрующих материалов. С. Н. Полубедов – поиск литературных источников.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: T. I. Drovovozova – formation of the research basic concept, purposes and objectives, drawing conclusions, participation in writing the article. D. V. Mil'chenkova – analysis of existing modern filter loads, participation in writing the article. S. A. Maryash – review of the properties and reactivity of filter materials. S. N. Polubedov – literary search. All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 96, № 2. С. 94–110.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2025. Vol. 96, no. 2. P. 94–110.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 05.06.2025;
принята к публикации 15.07.2025.
The article was submitted 12.05.2025; approved after reviewing 05.06.2025; accepted for
publication 15.07.2025.*