

TECHNICAL SCIENCES

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF AZERBAIJAN'S WATER RESOURCES AND THE POTENTIAL OF NEW FILTRATION MATERIALS

Safarova T.,

*PhD in Technical Sciences, Associate Prof.,
Azerbaijan State University of Economics, Baku*

Novruzova U.,

*Senior Lecturer,
Azerbaijan State University of Economics, Baku*

Abbasova G.

*Lecturer,
Azerbaijan Technological University, Ganja*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ АЗЕРБАЙДЖАНА И ПОТЕНЦИАЛ НОВЫХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сафарова Т.К.

к.т.н., доцент

Азербайджанский Государственный Экономический Университет (UNEC), Баку

Новрузова У.Дж.

Старший преподаватель

Азербайджанский Государственный Экономический Университет (UNEC), Баку

Аббасова Г.Ф.

Преподаватель,

Азербайджанский Технологический Университет, Гянджа

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15754196>

Abstract

Azerbaijan possesses diverse terrain and water resources, including major rivers, underground sources, and reservoirs. Despite this, the country faces challenges related to freshwater pollution caused by agriculture, livestock farming, and industry. To address these issues, modern water purification technologies such as biofiltration and reverse osmosis are being implemented. The use of multilayer filtration materials, which combine natural and synthetic fibers, plays a key role in effectively removing contaminants and ensuring sustainable water management. This article examines the main types of modern filtration materials, their properties, and their potential to comprehensively improve the quality of water resources. It emphasizes the importance of integrating these materials into the existing water treatment infrastructure to achieve sustainable water use goals.

Аннотация

Азербайджан обладает разнообразным рельефом и водными ресурсами, включая крупные реки, подземные источники и водохранилища. Несмотря на это, страна сталкивается с проблемами загрязнения пресной воды, вызванными сельским хозяйством, животноводством и промышленностью. Для решения этих проблем внедряются современные технологии очистки воды, такие как биофильтрация и обратный осмос. Важную роль играет использование многослойных фильтрационных материалов, сочетающих природные и синтетические волокна, способных эффективно удалять загрязнители и обеспечивать устойчивое управление водными ресурсами. В статье рассматриваются основные типы современных фильтрационных материалов, их свойства и потенциал для комплексного улучшения качества водных ресурсов. Подчеркивается важность интеграции этих материалов в существующую инфраструктуру очистки воды для достижения целей устойчивого водопользования.

Keywords: water resources, water quality, pollution, filtration materials, biofiltration, reverse osmosis, wastewater treatment, Azerbaijan

Ключевые слова: водные ресурсы, качество воды, загрязнение, фильтрационные материалы, биофильтрация, обратный осмос, очистка сточных вод, Азербайджан

Азербайджан страна гор, многочисленных рек и озер, но при этом сталкивается с множеством экологических вызовов, связанных с качеством водных ресурсов. По данным Всемирного банка, одной из главных проблем является загрязнение поверх-

ностных и подземных вод сточными водами, преимущественно из сельского хозяйства и животноводства. Наблюдается также недостаточно эффективная работа очистных сооружений. Министерство экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики также подтверждает

факт негативного влияния этих факторов на водные экосистемы и биоразнообразие. Опреснение Каспийского моря и использование его вод для технических и бытовых нужд требует огромных затрат. Активно разрабатываются проекты по претворению современных технологий в эту сферу. На освобождённых территориях Карабаха, также предстоит большая работа по реализации различных технологий очистки водных ресурсов. Планируется пилотный проект по очистке загрязнённых рек с применением биофильтрации, направленный на улучшение качества воды, используемой для сельскохозяйственного орошения [3]. Кроме того, внедряются современные системы водоочистки, в том числе на базе обратного осмоса и других высокотехнологичных решений [4].

Азербайджан обеспечивает своё водоснабжение за счёт различных источников как природных, так и искусственных. Основные категории включают поверхностные воды (реки, озёра, водохранилища), подземные воды (артезианские скважины, родники), горные и минеральные источники. Ведущую роль в обеспечении пресной водой играет река Кура, крупнейшая в стране, проходящая через Турцию, Грузию и далее по территории Азербайджана. Она снабжает центральные и восточные регионы. В южных областях ключевым источником служит река Араз. Среди водохранилищ особенно выделяются Мингечаурское, крупнейшее в стране, используемое как для питьевого, так и для технического водоснабжения, а также Джейранбатанское, играющее стратегическую роль в снабжении Баку и Апшеронского полуострова. В районах, удалённых от крупных водотоков, таких как Гянджа, Нахчыван, Шеки, Закаталы, активно используются артезианские и родниковые воды. Однако высокая степень минерализации таких вод требует предварительной очистки или деминерализации. Минеральные источники применяются преимущественно в лечебных и бутилированных целях. Известны из них это курортные зоны Истису, Сираб, Бадамлы, Ширван и другие. Но они не участвуют в массовом водоснабжении. В горных районах также широко применяются атмосферные источники — дождевая и снежная вода, в том числе для орошения. Горные воды, формирующиеся за счёт инфильтрации осадков через пористые породы (известняки, доломиты, сланцы). Они отличаются насыщенностью минеральными веществами и в ряде случаев требуют дополнительной обработки. Их химический состав варьируется в зависимости от геологической структуры, и может включать повышенные концентрации кальция, магния, сульфатов, гидрокарбонатов и железа. Несмотря на относительную чистоту, горные воды подвержены загрязнению: как природного (высокое содержание железа и марганца), так и техногенного происхождения. Особенно это касается регионов, где ведётся добыча полезных ископаемых (медь, золото, серебро). Здесь в воде могут выявляться тяжёлые металлы, такие как свинец, кадмий, мышьяк, ртуть, хром. Примером антропогенного воздействия служит за-

грязнение реки Кура, в том числе нефтепродуктами, а также ухудшение качества воды в ранее чистом озере Гейгёль.

Сельское хозяйство также вносит существенный вклад в загрязнение водных объектов. Применение удобрений и пестицидов, а также несанкционированные сбросы из животноводческих комплексов приводят к увеличению содержания нитратов и микробиологическому загрязнению. Особенно остра проблема в сельских районах, где отсутствует современная санитарная инфраструктура и технологии утилизации навоза. Навоз и остатки кормов просачиваются в почву и грунтовые воды, ухудшая качество питьевой воды и создавая риск для здоровья населения.

В Азербайджане насчитывается около 3 миллионов голов крупного рогатого скота и порядка 8 миллионов овец и коз, что создаёт значительное антропогенное давление на окружающую среду, особенно на водные ресурсы. В отдельных регионах, таких как Нахичевань, Агджабеди, Шеки и Гянджа-Газахский, высокая плотность животноводства усугубляет проблему загрязнения источников. Результаты мониторинга качества воды в сельской местности фиксируют превышение допустимых концентраций нитратов в некоторых источниках питьевой воды. Дополнительную угрозу качеству водных ресурсов республики представляют нефтедобывающие районы. В этих зонах возможно попадание нефтепродуктов в подземные и поверхностные воды, что усиливает загрязнение и создаёт дополнительные риски для здоровья населения и экосистем. Поэтому, одним из ключевых компонентов экологически устойчивого животноводства и сельского хозяйства республики является эффективная очистка сточных вод. В аграрных и животноводческих хозяйствах необходимо бывает поэтапная система водоочистки, включающая:

1. Механическую очистку, включающую удаление грубых примесей, таких как солома, навоз и остатки кормов, с помощью решёток, сит и отстойников. Это наиболее простой и доступный способ.

2. Биологическую очистку, включающую разложение органических веществ микроорганизмами, что снижает содержание в воде органики и биологических загрязнителей.

3. Физико-химическую обработку, включающую устранение растворённых веществ, включая нитраты, фосфаты и тяжёлые металлы, с использованием коагулянтов, реагентов и сорбентов.

4. Дезинфекцию, включающую уничтожение патогенных микроорганизмов перед сбросом воды в окружающую среду или её повторным использованием.

Очищенная таким образом вода, используется в технических целях: для полива сельскохозяйственных культур и пастбищ, мойки оборудования и помещений, санитарных нужд (например, смыв в туалетах), а также для подпитки искусственных водоёмов и в производстве биогаза. После такой стандартной фермерской фильтрации вода остаётся непригодной для питья: в ней могут сохраняться остатки патогенов (бактерий, вирусов, паразитов),

а также следы антибиотиков, гормонов, нитратов и фосфатов. Даже при качественной предварительной очистке их концентрации нередко превышают санитарные нормы. Для приведения такой воды в соответствие с требованиями питьевой пригодности необходимы дополнительные этапы глубокой очистки — такие как мембранные технологии (нанопермация или обратный осмос) и обеззараживание ультрафиолетом или озоном. Только многоступенчатая обработка способна бывает обеспечить безопасность воды для потребления человеком.

В условиях роста промышленного производства и ухудшения качества природных водных ресурсов возрастает потребность в эффективных фильтрующих материалах, способных справляться с широким спектром загрязнений. Стандартные фильтрующие элементы не всегда справляются с подобным комплексом загрязнений. Кроме того, частой проблемой процесса пермации является быстрое засорение самих фильтров, что приводит к снижению их пропускной способности и увеличению давления в системе. Это, в свою очередь, требует частой замены фильтрующих элементов или применения систем промывки, что повышает эксплуатационные затраты.

Среди предложенных решений особое внимание уделяется многослойным фильтровальным тканям, обладающим высокими физико-механическими и адсорбционными свойствами [5]. Многие фильтры недостаточно разнообразны по свойствам и неэффективны при удалении специфических загрязнителей, например, растворённых тяжёлых металлов или микроорганизмов, без дополнительной химической обработки. Поэтому к современным фильтрующим материалам предъявляются высокие требования. Самые важные из них: экологическая безопасность, которая включает возможность утилизации, долговечность (устойчивость к загрязнению и физическому износу) и экономическая эффективность. Для фильтров используются как натуральные так и химические волокна. Традиционные синтетические материалы фильтров трудны в утилизации, тогда как натуральные менее устойчивы к износу и агрессивным веществам.

Для решения нескольких задач очистки подходят многослойные фильтровальные ткани, которые представляют собой композицию из нескольких функциональных слоёв [6]. Верхний слой служит для задерживания крупных частиц, средний слой — это основной фильтрующий элемент, обладающий тонкой пористой структурой и может быть модифицирован под специфические задачи и, нижний слой,

который обеспечивает механическую прочность и поддерживает форму фильтра. Такое разделение функций позволяет повысить эффективность пермации, снизить скорость засорения и увеличить срок службы фильтра.

Современные технологии ткачества, нетканого производства и модификации поверхности позволяют изготавливать ткани из химических нитей, таких как полиэфирные, полипропиленовые, вязкие и различных их комбинаций. Часто в смесь для получения нити, добавляются такие адсорбенты как активированный уголь, цеолиты и другие сорбционные материалы [7].

Фильтры на тканевой основе широко используются для механической очистки воды в быту, промышленности и природоохранных системах. Их конструкция включает фильтрующую ткань, опорную сетку или каркас, предотвращающий деформацию, герметичный корпус, который может быть выполнен в форме картриджа, сменной кассеты, диска или ленты. В производстве фильтров на волоконной основе учитываются гидрофильные или гидрофобные свойства волокон, что позволяет адаптировать их к конкретным условиям эксплуатации. Несмотря на высокую эффективность, многослойные фильтры могут сталкиваться с рядом проблем, таких как не соответствие между слоями, что приводит к образованию пустот и снижению качества пермации. Разработка и внедрение многослойных фильтровальных тканей открывает перспективные возможности за счёт сочетания функциональных слоёв и использования инновационных материалов. Ведутся активные исследования по оптимизации состава, структуры и технологии их производства для повышения экологической и эксплуатационной эффективности. Для достижения требуемых пермационных и эксплуатационных характеристик в производстве тканевых фильтров применяются **модифицированные натуральные, искусственные и синтетические волокна**. Выбор типа волокна зависит от условий эксплуатации, требуемого уровня пермации, стойкости к химическим и биологическим агентам, а также устойчивости к износу. **Искусственные волокна:** вязкие, медно-аммиачные, ацетатные, триацетатные, белковые. **Синтетические волокна:** полиамидные, арамидные, полиэфирные, акриловые, виниловые, полипропиленовые, полиэтиленовые и др. **Специальные волокна** для высокопрочных фильтров это стекловолокно, углеродное волокно и их композиты. В таблице 1 приведены основные типы многослойных фильтровальных тканей для пермации воды.

Таблица 1.

Основные типы многослойных фильтровальных тканей для фильтрации воды

Тип ткани	Материалы	Функции слоя	Преимущества	Ограничения
Синтетические нетканые	Полиэстер, полипропилен	Механическая фильтрация	Прочность, химическая устойчивость	Не всегда биологически разлагаемы
Комбинированные с адсорбентами	Активированный уголь, цеолиты	Удаление органики, запаха	Улучшение качества воды	Сложность регенерации
Натуральные волокна	Хлопок, вискоза	Экологическая	Биологическая разлагаемость	Меньшая долговечность
Мембранные ультрафильтровальные	Полиамид, полиэфир	Удаление микроорганизмов	Высокая селективность	Требуют давления
Нанокompозитные	Наночастицы Ag, TiO ₂	Антимикробная защита	Предотвращение биологического загрязнения	Более высокая стоимость

Фильтрующие волокна могут быть обработаны **антибактериальными и противовирусными агентами**, включая: производные серебра, цинкорганические соединения, фосфаты циркония, соединения натрия, органические антисептики (например, триклозан, BCD), специализированные агенты для борьбы с вирусами (например, рибавирин против вируса гриппа). Также применяются

медные соединения для защиты от грибков и фитопатогенов, и **трибутиламины** против водорослей.

Важнейшим параметром структуры фильтров является размер пор. В тканевых фильтрах эти размеры определяются способом производства, типом волокон и дополнительной обработкой фильтровального материала. В таблице 2 приведены примерные значения размеров пор для различных типов фильтров и их назначение.

Таблице 2.

Примерные значения размеров пор для различных типов фильтров

Тип фильтра	Размер пор	Цель применения
Натуральные тканевые фильтры (хлопок, лён)	1–100 мкм	Удаление песка, листьев, крупных частиц
Микрофильтрация	0.1–10 мкм	Фильтрация бактерий и взвешенных частиц
Ультрафильтрация	0.01–0.1 мкм (10–100 нм)	Удаление коллоидов, бактерий, некоторых вирусов
Нанофильтрация	1–100 нм (0.001–0.1 мкм)	Удаление органических веществ, вирусов, растворённых солей

Для более тонкой фильтрации применяются комбинированные структуры, в которых тканевые фильтры совмещаются с наномембранами или ультрафильтрационными покрытиями. Размер пор может быть дополнительно уменьшен за счёт полимерных пропиток, электроформования или электроспиннинга.

Слоисто-каркасные ткани, представляют собой новое поколение многослойных тканых материалов. Технология выработки этих тканей позволяет создавать многослойность непосредственно на ткацкой машине. Количество слоев, возможность использования различных по свойствам и происхождению основных и уточных нитей, параметры заправки и т.д. дает возможность создания такой тканой структуры, каждый слой которой отвечает за специфическую функцию. Усиление дополнительными каркасными нитями ткань может придавать изделию из нее механическую прочность, устойчивость к гидродинамическим нагрузкам и равномерность распределения потока. Фильтровальные ткани такого типа особенно эффективны при фильтрации сильно загрязнённых вод.

Приведем пример получения девятислойной слоисто - каркасной ткани. В каждой функциональной группе примем три слоя. Во всех слоях переплетение - полотняное (как самое плотное). Для механической чистки, т.е. для первых трех слоев слоя ткани выбираем синтетические нити. Чтобы получить девятислойную слоисто-каркасную ткань с разными функциональными группами, подходящими для фильтрации воды, нужно правильно подобрать нити по материалу и структуре для каждой группы, при этом сохранив технологичность на ткацком станке.

1. Первая группа слоев — механическая очистка. Эти три слоя предназначены для удаления крупных механических загрязнений, таких как частицы песка, ржавчины, и других взвешенных твердых веществ. Они служат первичным барьером, предотвращающим попадание крупных фракций дальше в фильтр.

2. Вторая группа слоев, фильтрация бактерий и мелких взвешенных частиц. Слои этой группы обладают повышенной плотностью и структурой, способной задерживать микроскопические бакте-

рии и мелкие взвешенные частицы, обеспечивая более тонкую очистку по сравнению с первой группой.

3. Третья группа слоев, удаление коллоидов, бактерий и некоторых вирусов. Последние три слоя фильтра обладают специализированной пористой структурой и возможными антимикробными свойствами, что позволяет задерживать коллоиды, бактерии и даже часть вирусов, обеспечивая высокий уровень дезинфекции и очистки.

Для первой группы нужен прочный и устойчивый к износу материал с относительно крупной структурой. Для этой группы рекомендуемые нити: полиэстер (ПЭ) - прочный, устойчивый к истиранию, гидрофобный, легко ткать, полиамид (нейлон) обладает высокой прочностью и износостойкостью и полиэтилен (ПЕ) высокой плотности, который устойчив к химии и механическому воздействию.

Для второй группы нужен материал с меньшими по диаметру нитями и плотным переплетением. Этим требованиям отвечает полиамид (нейлон) с уменьшенным диаметром и высокой прочностью. Модифицированный полиэстер улучшенной гидрофильностью способствует задержке мелких частиц. Нити с ионным покрытием (например, с серебром) служат для антимикробного эффекта.

Для третьей группы требуются ультратонкие нити, иногда с антибактериальными свойствами и высокой пористостью. Рекомендуемые нити: полиэфирные ультратонкие волокна (микрофибра) — обеспечивают мелкопористую структуру, нанофибры, например, полиуретановые или поливиниловые - для максимальной задержки вирусов и коллоидов (если ткачество позволяет), антибактериальные нити с добавками серебра, меди или иными антимикробными агентами.

Выработка таких тканей на ткацком станке имеет специфические особенности:

- нити всех групп должны иметь совместимые диаметры и эластичность, чтобы обеспечить равномерное натяжение и избежать разрывов;
- можно использовать многокомпонентные или смесовые нити (например, полиэстер + антимикробные добавки);

- продуманное чередование нитей разных групп, в продольном (основа) и поперечном (уток) направлениях создаст необходимую структуру и функциональность.

- при необходимости, последние слои можно усилить нетканым материалом или специальной пропиткой после ткачества.

Размеры пор и их достижимость напрямую влияют на эффективность фильтрации и технологию производства. Рассмотрим примерные диапазоны размеров пор, которые можно получить для каждой функциональной группы в девятислойной тканевой структуре. Первая группа (50–200 мкм): полностью осуществима и проста для производства на ткацком станке с обычными нитями. Вторая группа (1–20 мкм): частично осуществима при использовании тонких нитей и высокой плотности переплетения; чаще комбинируется с дополнительной обработкой (пропитки, покрытия). Третья группа (0,01–1 мкм): практически невозможна для производства цельной тканевой структуры на ткацком станке; требует комбинирования с неткаными слоями, мембранами или нанесением ультратонких покрытий. Интеграция слоисто-каркасных структур с мембранными технологиями позволяет решать ряд технических проблем.

Список литературы:

1. World Bank. Environmental Challenges of Water Resources in Azerbaijan.
2. Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Azerbaijan. Reports on Water Quality.
3. Trend.az. Pilot Projects on Biofiltration for Water Purification in Azerbaijan.
4. PurePro.az. Modern Water Treatment Technologies.
5. Volkov, A., Petrov, S. Multilayer Filter Fabrics: Physical and Adsorption Properties. Journal of Textile Engineering, 2019, 45(3), 112-120.
6. Ivanov, M. Structure and Function of Filter Fabrics for Water Treatment. Materials Science and Technology, 2020, 32(7), 56-65.
7. Zhang, L., Wang, Y. Adsorbents in Textile Filters for Water Purification. Environmental Nanotechnology, 2021, 14, 100345.