

УДК 504.4.062.2

ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЗАГРУЗОК КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ

© 2016 Е.И. Тихомирова¹, Н.В. Веденеева¹, О.В. Нечаева^{1,2}, Т.В. Анохина²

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

²Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского

Статья поступила в редакцию 14.11.2016

В статье представлено обоснование технологии комплексной очистки воды с применением комбинированных фильтрующих загрузок. Приведены данные исследования эффективности наноструктурированных природных сорбентов, модифицированных препаратами с антимикробными свойствами, для очистки поверхностных вод питьевого назначения.

Ключевые слова: *поверхностные воды, очистка, сорбция, фильтрация, комплексные комбинированные загрузки, бактерицид*

Вода, распределяемая по водопроводной сети, в зависимости от источника водоснабжения может иметь различное происхождение. Она может забираться из источника, выкачиваться из скважины, поступать из слоя поверхностных вод (реки, озера), получаться посредством опреснения морской воды. Очень редко природная вода соответствует предъявляемым к ее качеству требованиям. Для того чтобы вода могла использоваться как пищевой продукт, она должна приобрести характеристики питьевой воды, то есть быть прозрачной, без цвета и запаха и не содержать болезнетворные микробы. По этой причине перед использованием вода должна проходить определенную очистку и определенную подготовку [1-3]. В условиях сельской местности, когда применение основных процедур водоподготовки (например, обезжелезивание, кондиционирование или дезинфекция) труднодоступны, широко распространились сорбционные методы очистки, позволяющие получить качественную воду питьевого назначения. Используя дополнительные фильтрующие материалы, наряду с простым механическим задерживанием твердых частиц, одновременно можно удалять из воды нежелательные (или вредные) вещества, а также запах и привкус [4-5].

Для очистки воды в настоящее время становятся популярными комбинированные фильтры, позволяющие в один этап осуществить

несколько стадий водоочистки. Это инновационный продукт современных технологий в области водоподготовки. Разработкой и производством занимаются многие зарубежные фирмы. Однако до настоящего времени не представлены варианты фильтров, эффективно обеспечивающих одновременно сорбцию и дезинфекцию в отношении химических и микробиологических загрязнителей. Учеными Саратовского государственного технического университета совместно со специалистами ООО НПП «ЛИССКОН» (г. Саратов) разработана экологически чистая, энергосберегающая, конкурентноспособная технология создания комбинированных фильтрующих загрузок на основе природных биологически активных и наноструктурированных сорбентов, как для очистки питьевых, так и сточных вод [6]. Данная технология позволяет не только очищать воду от химических и механических примесей, но и одновременно ее обеззараживать.

Для очистки питьевых вод рекомендовано использование комплекса модифицированных бентонитовых гранул и инновационного нанобиополимера с антибактериальными свойствами [7]. Состав слоев зависит от конкретной цели водоочистки, однако в качестве основных компонентов используются модифицированные бентонитовые гранулы и анионо-обменная смола с нанесенным наноструктурированным полимером. Сорбционный компонент фильтрующих загрузок представлен комплексом отоженных при разных температурах бентонитовых гранул, модифицированных различными добавками, и способных как катионному, так и анионному обмену. При создании фильтрующих загрузок для очистки питьевых вод рекомендовано использование модифицированных бентонитовых гранул, получаемых путем отжига бентонитового порошка Даш-Салахлинского месторождения (Азербайджан). Ранее проведенными исследованиями установлено, что гранулы являются наноструктурированными объектами и могут проявлять как

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии. E-mail: tichomirova_ei@mail.ru

Веденеева Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией кафедры экологии. E-mail: vnv09@ya.ru

Нечаева Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

Анохина Татьяна Викторовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры гигиены медико-профилактического факультета. E-mail: anohina_tv@mail.ru

анионные, так и катионные свойства, в зависимости от способа модификации, а также обладают высокой сорбционной емкостью по отношению к гумусовым веществам, железу, нитратам, взвешенным частицам.

В качестве бактерицидного компонента в загрузках используется нетоксичный для животных и человека инновационный, эффективный в малых дозах наноструктурированный полимер – полидиметилдиал-лиламмоний ионогидрат (ПААГ-М), относящийся к классу поликатионов и обладающий антимикробной и фунгицидной активностью. Исходным сырьем для создания полиазолидинаммония модифицированного гидрат-ионами йода является полидиаллилдиметиламмоний хлористый, применяемый в качестве коагулянта (для очистки стоков) и диспергатора (для снижения вязкости дисперсных систем на водной основе с высокой концентрацией). Полимер обладает антимикробными свойствами за счет образования электростатических связей между полимером и мембранами бактерий, а также биоактивного йода, входящего в его состав и эффективен в отношении санитарно-показательных микроорганизмов воды.

Ранее нами были проведены исследования бактерицидных свойств водного раствора ПААГ-М разных концентраций (двукратных разведений от 2% до 0,03%) с использованием модельного микроорганизма *E. Coli*, установившие наиболее эффективные бактерицидные концентрации препарата, а также необходимое время воздействия. Полный бактерицидный эффект достигается через 1 час взаимодействия ПААГ-М с бактериями при действии минимальных концентраций. Это

объясняется особенностями строения молекулы полимера, которая в концентрированном состоянии представляет собой плотную глобулу, а при растворении в воде и нанесении на поверхность какого-либо материала, глобулы полимера разворачиваются, освобождая больше активных центров. Чем больше разбавление, тем больше разворачивается цепочка полимера [2]. В качестве модельных санитарно-показательных микроорганизмов воды были выбраны штаммы *Y. Enterolitica*, *S. enterica*, *P. Vulgaris*, *E. Coli*, на которые ПААГ-М оказывает бактерицидное действие. Рост колоний полностью отсутствовал на протяжении 7 дней культивирования в термостате (табл. 1).

Таблица 1. Биологическая активность ПААГ-М в отношении условно-патогенных микроорганизмов воды

Штаммы бактерий	Наличие роста колоний микроорганизмов
<i>E. coli</i>	-
<i>Y. enterolitica</i>	-
<i>S. enterica</i>	-
<i>P. vulgaris</i>	-
контроль	+

Для дальнейшей возможности применения ПААГ-М в целях водоподготовки оценивали острую его токсичность методами биотестирования с применением водоросли хлорелла *Chlorella vulgaris* Beijer, дафний *Daphnia magna* (табл. 2). Исследования показали отсутствие токсичности препарата в применяемых концентрациях.

Таблица 2. Оценка острой токсичности ПААГ-М методами биотестирования

Биотест-объект	Концентрации ПААГ-М в мкг/мл										
	1000	500	250	125	62,5	32	16	8	4	2	К
<i>Chlorella vulgaris</i>	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс
<i>Daphnia magna</i>	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс	не токс

В связи с тем, что водный раствор ПААГ-М трудно применим в проточных или наливных фильтрах, необходимо было подобрать субстрат для его нанесения. В качестве основы для нанесения рассматривали исследуемые бентонитовые гранулы, а также современные сорбенты, отличающиеся структурой, площадью удельной поверхности, элементным составом. После проведения широкого ряда исследований, установлено, что бактерицидная активность ПААГ-М зависит от структуры сорбента, который определяет общую дезинфицирующую способность фильтрующего слоя. 100% антибактериальный эффект отмечен только при нанесении полимера на анионообменную смолу АВ 17-8, которая отличается от других сорбентов особенностями строения

и наличием четвертичных аммониевых оснований. ПААГ-М за счет электростатических сил прикрепляется органическим радикалом к группам четвертичных аммониевых оснований, при этом активные центры полиэлектролита, содержащие активный йод, оказываются свободными. В данном варианте комплекса полимера и сорбента ПААГ-М крепко удерживается на гранулах смолы и не смывается при фильтрации водных растворов.

Для оценки эффективности применения комбинированных фильтрующих загрузок в лабораторных и производственных условиях были выбраны несколько источников, находящихся на территории Саратовской области и отличающиеся разным уровнем загрязнения:

реки Соколка, Елшанка, пруд Бахчев. Река Елшанка протекает в Саратовском районе и по территории г. Саратов. Относится к Нижне-волжскому бассейновому округу. Длина реки составляет 26 км, запружена. Для источника характерна высокая цветность и мутность проб, особенно в летний период. Из-за близко расположенных дачных массивов, сельскохозяйственных полей возможно попадание органических и азотсодержащих соединений. Отбор проб производился ниже села Атамановка. Река Соколка протекает в Новобурасском районе Саратовской области. Левый приток реки Чардым, бассейн Волги. Длина реки составляет 21 км. Протекает через село Лох, где и производился отбор проб. Согласно данными многолетнего мониторинга для источника отмечены повышенные концентрации железа в пробах. Бахчев пруд расположен на окраине г. Саратова в промышленной зоне. В его близи находятся несколько предприятий: Саратовский арматурный завод, Завод керамзитобетонных изделий, Стройдеталь, автозаправка, бывший учебный полигон Саратовского института химической защиты. Источник интенсивно подвергается загрязнению неочищенными бытовыми сточными водами близлежащих частных домов, а

также нефтепродуктами, поступающими при мойке автотранспорта местным населением. В пробах значительно превышен уровень ПДК по содержанию термотолерантных и колиформных микроорганизмов, цветности. В летний период сильно мельчает, поэтому в пробах повышена минерализация.

Отбор проб воды исследуемых водных объектов осуществляли согласно ГОСТ Р 51593-2000. Лабораторно-аналитические исследования по основным показателям по аттестованным методикам: мутности и цветности осуществляли в соответствии с ГОСТ 3351-74, нитриты (ПНД Ф 14.1:2.3-95), нитраты (ГОСТ 18826-73), фосфаты (14.1:2:4.112-97), содержание железа (14.1:2:4.50-96); ХПК (ПНД Ф 14.1:2:4.154-99), жесткость (ПНД Ф 14.1:2.98-97); хлорид-ионы – потенциометрическим методом с помощью иономера И-160. Для определения общего содержания в воде использовали кондуктометр TDS 3; pH определяли pH-метром Аквилон 2000 (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97). Санитарно-микробиологический анализ поверхностных вод производили в соответствии с МУК (4.2.1018-01 и 4.2.1884-04). Результаты проведенных исследований по оценке эффективности фильтрации представлены в табл. 3-5

Таблица 3. Эффективность фильтрации проб воды из р. Елшанка

ПОКАЗАТЕЛЬ	Исходная проба (n=10)	Фильтрат (n=20)	Эффективность фильтрации, %	Нормативы по СанПиН 2.1.4.1074-01
солесодержание, мг/л	408,00±7,34	402,00±8,34	1,47	1000
запах, балл	0	0	0	2
цветность, град	140,00±7,05	5,00±0,6	96,40	20
мутность, мг/л	280,40±4,45	2,11±0,43	99,25	1,5-2
жесткость, мг-экв./л	5,21±0,23	1,62±0,98	69,23	7 – 10
щелочность, ммоль/л	6,87±1,03	4,05±1,03	41,05	7
pH	7,13±1,12	7,29±1,49	-	6-9
нитриты, мг/л	0,21±0,01	0,12±0,01	40,58	3
нитраты, мг/л	8,88±0,01	5,91±0,04	32,96	45
фосфаты, мг/л	18,29±2,23	3,53±0,05	80,7	3,5
железо общее, мг/л	0	0	0	0,3
ХПК, мг/л	7,51±2,23	4,19±0,69	55,79	5,0
ОМЧ, КОЕ/мл	1442,00±10,98	0	100	не более 50

Пробы, отобранные из р. Елшанка, характеризовались повышенной мутностью и цветностью, превышено содержание фосфатов, а также сильное микробное загрязнение. В результате очистки проб воды из р. Елшанка с помощью разработанной загрузки также отмечено значительное снижение показателей цветности, мутности (эффективность очистки 96-99%). В профильтрованных пробах полностью отсутствовали микроорганизмы (степень очистки 100%) (рис. 1), содержание фосфатов, превышение которых отмечено в исходном образце, снизилось на 80%, остальным показателям степень очистки составила 18-69%.

В результате фильтрации воды из р. Соколка, доказана способность комбинированной фильтрующей загрузки эффективно обезжелезывать воду: содержание железа с 4,12 мг/л в исходной пробе снизилось до 0 в фильтрате (степень очистки 100%), 100% обеззараживать воду, а также эффективно снижать цветность и мутность.

После фильтрации проб, отобранных из пруда Бахчев показатель солесодержания снизился на 52%. Результаты по остальным показателям были аналогичны предыдущим исследованиям: пробы после фильтрации были прозрачными, без посторонних запахов и примесей, с отсутствием микроорганизмов.

В результате проведенных исследований установлена 95-100% эффективность комбинированной фильтрующей загрузки в отношении таких показателей как цветность, мутность, ОМЧ, содержание железа. Степень фильтрации нитритов, нитратов, фосфатов, изменения общего

солесодержания и ХПК составляла в среднем 30-80%. Во всех исследуемых образцах фильтратов поверхностных вод отмечено снижение показателей, превышающих уровень ПДК в исходной пробе (рис. 2).

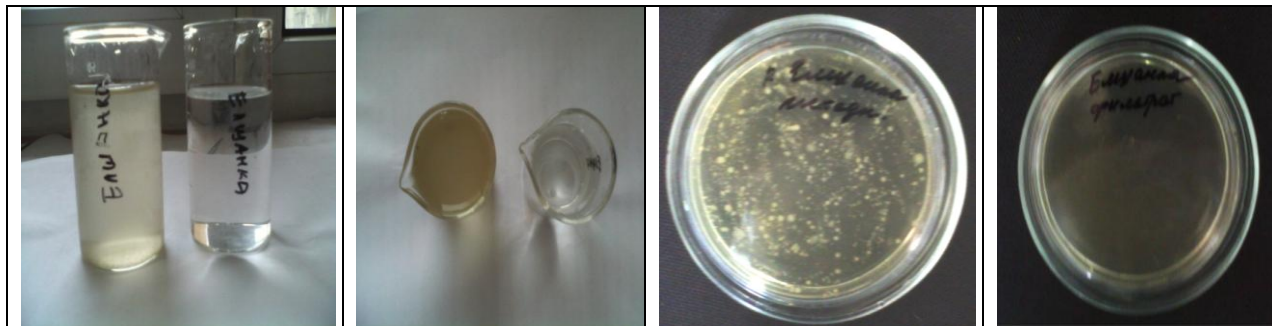


Рис. 1. Мутность и микробное загрязнение проб из р. Елшанка до и после фильтрации

Таблица 4. Эффективность фильтрации проб из воды р. Соколка

ПОКАЗАТЕЛЬ	Исходная проба (n=10)	Фильтрат (n=20)	Эффективность фильтрации, %	Нормативы по СанПиН 2.1.4.1074-01
солесодержание, мг/л	795,00±17,56	498,00±4,76	37,36	1000
запах, балл	0	0	0	2
цветность, град	85,00±2,34	2,00±0,05	97,65	20
мутность, мг/л	26,51±5,21	1,23±0,01	95,47	1,5
жесткость, мг-экв./л	8,00±0,03	3,00±0,01	62,50	7
щелочность, ммоль/л	7,46±1,26	7,47±1,01	0	7
pH	6,62±1,04	7,1±1,55	-	6-9
нитриты, мг/л	0,18±0,01	0,14±0,01	25,00	3
нитраты, мг/л	4,48±0,85	2,02±0,17	54,55	45
фосфаты, мг/л	0,73±0,05	0,29±0,02	58,57	3,5
железо общее, мг/л	4,12±0,01	0	100,00	0,3
ХПК, мг/л	5,51±0,24	5,01±0,13	8,89	5,0
ОМЧ, КОЕ/мл	679,00±19,65	0	100,00	не более 50

Таблица 5. Эффективность очистки воды из пруда Бахчев

ПОКАЗАТЕЛЬ	Исходная проба (n=10)	Фильтрат (n=20)	Эффективность фильтрации, %	Нормативы по СанПиН 2.1.4.1074-01
солесодержание, мг/л	2028,00 ± 44,5	876,00 ± 8,3	51,87	1000
запах, балл	3,00±0,01	0	100	2
цветность, град	200,00±17,11	25,09±	87,50	20
мутность, мг/л	1,77±0,09	0,55±0,02	70,59	7
жесткость, мг-экв./л	0	0	-	7
щелочность, ммоль/л	6,87±0,13	7,06±0,11	-	6-9
pH	23,45±1,55	1,9±0,07	91,74	1,5
нитриты, мг/л	2,13±0,08	0,71±0,03	66,77	3
нитраты, мг/л	7,87±0,19	0,35±0,01	61,54	45
фосфаты, мг/л	6,57±0,98	2,19±0,13	67,69	3,5
железо общее, мг/л	0	0	100	0,3
ХПК, мг/л	9,18±1,1	3,51±0,48	61,54	5,0
ОМЧ, КОЕ/мл	2235,00±76	0	100	не более 50



до фильтрации



после фильтрации

Рис. 2. Пробы воды из п. Бахчев до и после фильтрации

Выводы: использование разработанных фильтрующих систем обеспечивает решение сразу двух задач водоочистки: подготовки поверхностных и грунтовых вод для питьевого водоснабжения и очистки сточных и загрязненных поверхностных вод. Их применение позволяет существенно снижать цветность и мутность, сорбировать ионы тяжелых металлов, нитриты и нитраты, пестициды, нефтепродукты и одновременно обеззараживать воду. Фильтрующие системы предназначены как для индивидуального пользования в полевых, походных, экстремальных (в случаях природных и техногенных катастроф), так и в домашних условиях. Возможно создание различных вариантов коммерческого продукта: от бытовых кувшинных фильтров до станций водоснабжения малых

населенных пунктов в сельской местности. Комбинированные фильтрующие системы могут быть использованы в установках очистки воды на предприятиях среднего и малого бизнеса, ЖКХ, садовых кооперативов, частного потребления, а также иных водопользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гамаюнова, А.А. Качество питьевой воды и здоровье населения / А.А. Гамаюнова, Л.А. Басихина, Н.Я. Кучеренко, Л.Т. Самкаева // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 6. С. 70-76.
2. Нечаева, О.В. Создание инновационных препаратов на основе гетероциклических соединений и полиазолидинаммония, модифицированного гидрат ионами галогенов / О.В. Нечаева, Е.И. Тихомирова, Д.А. Заярский, М.М. Вакараева // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6-3. С. 506-511.
3. Онищенко, Г.Г. Приоритетная задача национальной безопасности // *Экология и жизнь*. 2010. № 7. С. 82-83.
4. Ревич, Б.А. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. // *Введение в экологическую эпидемиологию*. – М., 2001. С. 224-230.
5. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». – М.: Минздрав России, 2002. 14 с.
6. Веденева, Н.В. Инновационные методы очистки поверхностных и сточных вод с использованием наноструктурированных сорбентов / Н.В. Веденева, В.А. Заматырина, Е.И. Тихомирова и др. // *Инновационная деятельность*. 2014. № 4. С. 27-31.
7. Веденева, Н.В. Разработка комплексной очистки поверхностных вод от химических и биологических загрязнителей / Н.В. Веденева, О.В. Нечаева, Е.И. Тихомирова // *Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России: мат-лы II Всерос. конф.* – М., 2014. С. 79-80.

PURIFICATION THE SURFACE WATERS WITH USING THE INNOVATIVE COMPLEX ACTION FILTERS

© 2016 E.I. Tikhomirova¹, N.V. Vedeneeva¹, O.V. Nechayeva^{1,2}, T.V. Anokhina²

¹ Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A.

² Saratov State Medical University named after V.I. Razumovskiy

In article reasons for technology of complex water purification using the complex action filters are provided. These researches of efficiency of the nanostructured natural sorbents modified by medicines with antimicrobial properties for purification the surface waters of drinking appointment are given.

Key words: surface waters, purification, sorption, filtering, complex combined loadings, bactericide

Elena Tikhomirova, Doctor of Biology, Professor, Head of the Ecology Department. E-mail: tikhomirova_ei@mail.ru; Nataliya Vedeneeva, Candidate of Biology, Chief of the Laboratory at the Ecology Department. E-mail: vnv09@ya.ru; Olga Nechaeva, Candidate of Biology, Associate Professor at the Ecology Department. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru; Tatiana Anokhina, Candidate of Medicine, Associate Professor at the Hygiene Department at the Medical-Preventive Faculty. E-mail: anokhina_tv@mail.ru