

А.П. Селезнев, Е.Ф. Сороколетова, А.И. Андриянов,
А.В. Кривцов, Н.Н. Кириченко, Ю.В. Ищук,
Л.В. Яценко, Е.С. Павлинова, А.А. Селезнева

Гигиенические и технические характеристики современных индивидуальных устройств очистки воды

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Представлены основные типы используемых в настоящее время индивидуальных устройств очистки воды до состояния питьевой. Показано, что процесс водоподготовки включает в себя стадии удаления взвешенных частиц и микроорганизмов, то есть собственно фильтрацию и микрофильтрацию с последующим сорбционным и ионообменным удалением органических соединений и тяжелых металлов. В случае загрязнения воды вирусами необходима дополнительная стадия обеззараживания хлорными либо йодными реагентами. Конечную обработку в данном случае целесообразно проводить высокоактивными углями либо активированными угольными волокнами. При использовании процесса микрофильтрации особенно эффективной является водообработка с помощью трековых мембран. Показана перспективность применения в портативных фильтрах, предназначенных для обеззараживания воды, электрокинетической сорбции нановолокнами гидроксида алюминия. Рассматриваются наиболее малогабаритные образцы фильтров – трубчатые фильтры типа «соломина». Выявлена невозможность использования в фильтрах такого типа микрофильтрационных элементов, обладающих высоким сопротивлением проходящему сквозь них водному потоку. Это затрудняет их применение в случае мутных вод, содержащих, возможно, токсичные коллоиды. Полную очистку природной воды может осуществить лишь фильтр, снабженный, помимо прочего, узлом глубокой механической фильтрации (ультрафильтрации) картриджного керамического типа либо трековыми мембранами. Лишь такие фильтры практически полностью удаляют из воды электронейтральные коллоидные взвеси, которые могут стать причиной как химического, так и бактериологического отравления: отрицательно заряженный микроорганизм может электростатически присоединиться к положительно заряженной частице коллоида с образованием электронейтрального элемента взвеси. Использование помповых конструкций фильтров хотя и позволяет получать идеальную по чистоте воду, но проблематично вследствие необходимости осуществлять трудоемкую ручную прокачку очищаемой воды через микрофильтрующий элемент. Именно эта проблема нуждается в первоочередном техническом решении.

Ключевые слова: водоснабжение военнослужащих, индивидуальные фильтры, микрофильтрация, адсорбция, фильтрующие элементы, нановолокна гидроксида алюминия, трековые мембраны, вирусы, обеззараживание.

В условиях массового загрязнения водоисточников, а также при разрушении систем централизованного водоснабжения, характерного для зон локальных вооруженных конфликтов и чрезвычайных ситуаций, снабжение питьевой водой, как правило, приобретает децентрализованный характер и обеспечение безопасности индивидуальных и групповых запасов воды становится одной из задач всестороннего материально-технического обеспечения частей. Особое значение приобретает обеспечение питьевой водой при выполнении военнослужащими задач в отрыве от источников водоснабжения.

В настоящее время в комплект боевой экипировки второго поколения входит индивидуальный фильтр «ИФ-10», предназначенный для очистки пресной воды из колодцев, скважин, водоемов, рек и ручьев с целью получения питьевой воды.

Все многообразие процессов водоочистки в любых, в том числе портативных, фильтрах можно разделить на два основных этапа: собственно фильтрование и последующая сорбционная либо реагентная обработка образующегося на первом этапе фильтрата [3].

На первом этапе используют фильтрующие аппараты, процесс очистки в которых осуществляется путем пропускания очищаемой воды через устройства, содержащие сквозные отверстия (поры) различного диа-

метра. В зависимости от размера этих пор отделяться от водной фазы могут как макрочастицы (песок, ил, водоросли и т. д.) с размерами в несколько десятков микрон и более (макрофильтры), так и микрочастицы с размерами от десятых долей микрона до нескольких микрон (микрофильтры). К таким микрочастицам относятся различные коллоиды, придающие воде мутность, а иногда и окраску, бактерии, простейшие, яйца гельминтов, а также более крупные вирусы, например, оспы. Однако основная часть вирусов и микробные токсины такими фильтрами не задерживаются (табл.), а ведь именно микроорганизмы, наряду с радиоактивными частицами, являются наиболее опасными, не воспринимаемыми нашими органами обоняния и вкуса загрязнителями природных вод [1, 6, 20].

Таким образом, на первой стадии водоочистки без учета этапа предфильтрации обязательным является удаление из воды бактерий и самых распространенных простейших, которых в открытых водоемах обычно очень много. В то же время работоспособность всех без исключения микрофильтров, включенных в систему фильтрации, напрямую зависит от качества водообработки установленными до них предфильтрами, осуществляющими классическую фильтрацию, поскольку именно она иногда на несколько порядков позволяет продлить ресурс микрофильтров, предохраняя их

Таблица

**Перечень микроорганизмов, содержащихся
в очищаемой воде**

Разновидности микроорганизмов	Название	Размер, мкм
Вирусы	Hepatitis A Norwalk Virus Rotavirus Poliovirus	0,02–0,2
Бактерии	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella typhimurium</i> <i>Vibrio cholerae</i>	0,2–5
Простейшие	<i>Entamoeba histolitica</i> <i>Cryptosporidium parvum (cyst)</i> <i>Giardia lumbria (cyst)</i>	1–15

стенки от засорения. В роли предфильтров обычно выступают различные грубые фильтрующие материалы – тканевые, войлочные и т. д. [11, 13].

В качестве микрофильтров часто используются микропористые керамические ловушки, например, картриджи марки «СМ 01-1775» в военном фильтре модели «PF 111» фирмы «Pureeasy» (Китай), который, согласно прилагаемой инструкции, обеспечивает 100% очистку воды от бактерий [22, 26]. В районах, где антибактериальной обработки достаточно, такой фильтр незаменим – его вес составляет всего 88 г, производительность – 0,3 л/мин, а ресурс – 2000 л.

Широкое применение нашли гибкие фильтрующие элементы из полых стекловолоконных элементов, например, марки «Fiberglass» с размером пор до 0,3 мкм либо подобных им синтетических, типа «Hollow Fiber». Примером портативного устройства, использующего подобные элементы, является фильтр «Base camp» компании «Katadin» (Швейцария) [23, 27].

Наряду с картриджными и другими объемными элементами, включающими в себя значительные по толщине слои фильтрующего, часто насыпного, материала, широкое применение находят тонкие микропористые пленки или пластины, изготовленные прессованием различных мелкодисперсных волокон, например асбеста, либо химическим травлением различных полимерных пленок, либо «бомбардировкой» этих пленок – трековые мембраны [12]. Их обычно изготавливают из поликарбонатных либо лавсановых пленок толщиной 10–25 мкм на ускорителях ионов различных моделей. Например, в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна, Россия) используется ускоритель «У-400», производящий до 10^{12} ионов криптона в секунду. Это позволяет производить трековые мембраны с плотностью пор до 3×10^9 на см^2 [18]. Диаметр пор в случае использования ионов криптона составит 0,3 мкм. Выбором ионов различных элементов можно добиться минимального диаметра – 0,05 мкм. Следует, однако, заметить, что мембраны с очень малыми порами об-

ладают большим гидравлическим сопротивлением и малой производительностью. Поэтому для целей микрофильтрации ограничиваются обычно мембранами с порами порядка 0,2–0,3 мкм. Такие мембраны, как уже указывалось, обеспечивают удаление из фильтруемой воды всех коллоидов, простейших и бактерий. С целью уменьшения гидравлического сопротивления трековых мембран в качестве материала для пленки выбирают гидрофильные (смачиваемые водой) полимеры, а с целью упрочнения их «ламинируют», т. е. крепят полученную мембрану к более крупнопористой прочной пленочной полимерной подложке с получением «мембранной карточки» [12]. Ламинированную мембрану накладывают на более крупнопористое (ячеистое) основание, достигая упрочнение изделия в 15–20 раз [14, 15, 17]. Удачным вариантом использования ламинированных трековых мембран являются устройства модельного ряда «Водный доктор», в частности модель «ВД-Искандер» общества с ограниченной ответственностью «ЭкоМембраны» (Россия) [23]. Аналогичные фильтры производят и другие фирмы, например «Капель» (Россия), «Nerox» (Финляндия), причем трековые мембраны изготавливаются также в г. Дубне.

Положительные отличия фильтров на основе трековых мембран по сравнению с картриджными заключаются в заданности и одинаковом диаметре пор, что позволяет выбирать мембраны для решения конкретных задач. Эти мембраны легко отмывать от засорений благодаря гладкости их стенок в сравнении с керамическим картриджем, кроме того, их стоимость ниже.

Несмотря на то, что практически все указанные фильтрующие устройства требуют для их изготовления использования достаточно сложных, а в случае использования трековых мембран, новейших технологий, удачные разработки обеззараживания питьевой воды с помощью микрофильтрации осуществлялись очень давно. Так, Fr. Breyer [24] еще в 1886 г. описал мембранные фильтры (по сути – микрофильтры) на основе пластин, изготовленных из мелкодисперсного асбестового волокна. Конструкция таких пластин упрочняется рамочно-тканевыми устройствами, являющимися по сути предфильтрами, а сам процесс упрочнения напоминает ламинирование современных трековых мембран с получением «мембранных карточек». Им описаны способы применения устройств на основе таких мембран войсками колониальных армий в походных условиях.

Как уже указывалось, собственно фильтрация, как процесс фазоразделения, является для подавляющего большинства фильтров первым этапом процесса, осуществляющим осветление обрабатываемой воды и удаления из нее бактерий и простейших. Для получения гарантированно нетоксичной питьевой воды в ней необходимо также снизить, хотя бы до уровня предельно допустимых концентраций, содержание нормируемых органических соединений, тяжелых металлов, других токсичных элементов. Обязательным является также уничтожение различных вирусов, если таковые содержатся в воде. В этих случаях дополнительно используют сорбционные и химические методы [8, 19].

Безнапорно-гравитационные фильтры серии «Водный доктор», в частности модель «ВД–Искандер», также многоступенчатые: снабжены предфильтром – аэратором в виде чехла из грубой материи с заданными свойствами, в который помещается «мембранная карточка». Внутри чехла происходит окисление растворимого в воде двухвалентного железа до выпадающего в осадок и отделяемого на мембране трехвалентного. Сам же чехол, выполняя функции предфильтра, задерживает крупные нерастворимые взвеси. Непосредственно на трековой мембране фиксируется пластина фильтровально-сорбционного комплекса «Аквamedин СМ-5», изготовленная из макрофильтрационных мембран и одной из разновидностей активированного углеродного волокна. Эти ступени задерживают большинство органических токсинов, ядохимикаты, некоторые радионуклиды, улучшают органолептические свойства воды [23]. «ВД–Искандер» комплектуют набором обеззараживающих таблеток для борьбы с вирусами, что делает этот фильтр практически идеальным в смысле универсальности очистки воды в полевых условиях [27]. Однако полевым его назвать трудно из-за сложности эксплуатации. Данное устройство относится к ряду безнапорно-гравитационных, принцип действия которых подобен используемому в уже упомянутых фильтрах «Base Camp». Для работы всех моделей серии «Водный доктор» помещенный в чехол мембранный комплекс с отводной трубкой необходимо опустить в приподнятую емкость с очищаемой водой, а второй конец трубки поместить в емкость, расположенную ниже на 0,5–1 м и ждать ее наполнения, что в полевых условиях и чрезвычайных ситуациях часто весьма затруднительно. Если учитывать высокое качество получаемой при этом воды, на наш взгляд, следует ожидать появления в будущем и портативных вариантов данной модели. На это указывает появление разработок, направленных на упрочнение «мембранных карточек» и придание им форм, отличных от пластинчатых. Например, трековая мембрана имеет цилиндрическую форму и наклеивается на концы трубки [15], что позволяет подавать на мембрану воду под повышенным давлением с помощью ручной помпы, то есть значительно увеличить производительность фильтра по сравнению с безнапорным гравитационным.

Портативные помповые фильтры с картриджным керамическим либо стекловолоконным фильтрующим элементом: военный фильтр «PF 1112» фирмы «Pureeasy», (Китай), фильтры швейцарской фирмы «Katadin», фильтр «НФ-30» отечественного производства.

В военном фильтре модели «PF 111» в роли микрофильтров используются микропористые керамические ловушки как, например, картриджи марки «СМ 01-1775» [22, 26]. Полость керамического картриджа заполнена разновидностью активированного угля «NANO-KDF». Этот фильтр благодаря сорбенту органического происхождения обеспечивает 100% очистку воды от бактерий и удаление из обрабатываемой воды тяжелых металлов, других «вредных веществ». Диаметр пор – 0,1 мкм способен задерживать наиболее крупные вирусы.

Для продавливания воды сквозь поры такого размера фильтр снабжен ручной микропомпой.

Во всех моделях швейцарской фирмы «Katadin» после картриджного керамического либо стекловолоконного фильтрующего элемента следует сорбционный элемент на основе смеси активированного угля с активированным углеродным волокном, часто модифицированным, что делает его способным поглощать не только органику, но и ионы тяжелых металлов, а также выступать в качестве антисептика («Vario», «Combi», «Hiker», «Ceramic», «Pocket» и самый крупный из них, хотя и портативный – «Expedition» размером 58 на 20 см, с ресурсом – 100 тыс. л и производительностью 4 л/мин).

К серии помповых фильтров для полевых условий, описанных выше, можно отнести и отечественный портативный фильтр «НФ-30», принятый на снабжение в 1991 году [27]. Он предназначен для очистки воды от бактерий и вирусов, радионуклидов, органических веществ, фенолов, альдегидов, пестицидов, гербицидов, хлора и растворимых солей тяжелых металлов (кадмия, ртути, свинца и других). Фильтр может применяться для обеспечения водой небольших групп военнослужащих (расчет, экипаж, отделение), действующих на значительном удалении от источников с чистой питьевой водой или в районах с неблагоприятной экологической и эпизоотической обстановкой. Принцип действия фильтра основан на очистке воды путем высокоэффективной сорбции на углеродных волокнистых материалах с высокоразвитой поверхностью макро- и микропор.

В том случае, когда вода в источнике вызывает подозрение по бактериальным показателям (наличие мертвых рыб, резкие запахи и т. п.), или известно, что данный район неблагополучен в эпидемиологическом отношении, воду необходимо обработать в футляре дезинфицирующими веществами (гипохлоритами, перманганатом калия, йодом и др.). Кроме того, у пользователей популярны дезинфицирующие таблетки, такие как отечественный «Акватабс» (активный хлор) [5, 21]. В Соединенных Штатах Америки (США) и Канаде используются «Micro Pure» (диоксид хлора), «Potable Aqua» (таблетки йода и диоксида хлора), «Pristine» (диоксид хлора), «Pure Water 2 GO» и др. Однако в воде после ее хлорирования образуются многочисленные хлорорганические соединения, концентрация которых определяется наличием соответствующей органики в исходной воде (гуминовые кислоты, фульвокислоты, хинолины, производные анилина, фенола, продукты метаболизма водорослей), обладающих биологической активностью [4].

В фильтрах-насадках, например в американском фильтре «AV-50» и водоочистителе «FWP» фирмы «Pre-Mac» (Великобритания), вода через фильтр со съемным патроном прокачивается в стандартную флягу. Крупные частицы загрязнителя задерживаются в слое грубого фильтрующего материала, а вода поступает на фильтр, изготовленный из импрегнированного серебром активированного угля для удаления запахов и органики, и затем подается в камеру, где контактным бактерицидным фильтром служит йодированная ионообменная смола.

Остаточный йод при этом обеспечивает вторичную дезинфекцию и сохранение стерильности воды [2, 21].

Отечественное индивидуальное водоочистное устройство «Бирюза» представляет собой фильтр, навинчивающийся на стандартную флягу. Комбинированная насадка фильтра позволяет в полевых условиях получать питьевую воду, очищенную от органических веществ, некоторых радионуклидов, тяжелых металлов, бактерий и других загрязнителей. В качестве дезинфицирующего средства предложены таблетки «Аквасан», обладающие не только обеззараживающим, но и коагулирующим эффектами. Масса устройства – 700 г, производительность – 10 л/ч. Недостатком является использование для обеззараживания воды емкости самого устройства. Поэтому в случае заражения воды отравляющими веществами требуется проведение специальной обработки этой емкости для процесса обеззараживания. Аналогичные методы очистки (высокоэффективная сорбция на специально подготовленных углеродных волокнистых материалах с высокоразвитой поверхностью макро- и микропор и последующим реагентным обеззараживанием) применены в фильтрах «Лидер» и «Альтаир» (Россия).

Особое место среди портативных фильтров занимают устройства типа «фильтр-бутылка», представляющие собой обычно пластиковую бутылку, в горлышко которой вворачивается фильтр-картридж. В открытое горло бутылки заливают очищаемую воду, затем привинчивают картридж «Hyundai HC-1000» (Корея). При переворачивании бутылки и сжатии ее стенок руками из выхода картриджного фильтра начинает медленно выходить фильтрат, т.е. очищенная вода. Характер и степень очистки при этом зависят от типа выбранного картриджа. Например, фильтр «Katadin Virustant Extream» (Швейцария) снаряжен стекловолоконным микрофильтром с размером пор до 1 мкм (фильтрация от бактерий и цист), слоем йодированной ионообменной смолы для дезактивации вирусов и наиболее мелких бактерий и слоем активированного угля либо угольного волокна, уменьшающего содержание органики и хлора, а также улучшающего вкус воды. Аналогично устроен и работает фильтр «Katadin bottle» (Швейцария) [23].

Наиболее совершенны фильтры-бутылки марок «Katadin My Bottle Purifier» (Швейцария). Стекловолоконный фильтр с диаметром пор 0,3 мкм и гранулами модифицированного активированного угля очищают воду от мути, микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, тяжелых металлов и обеспечивают свежий вкус. Помимо «Katadin», под брендом «Pure water 2 GO» выпускается бутылка-фляга «Portable Canteen Filter» военного типа емкостью 0,9 л. В России производится фильтр-бутылка: индивидуальный полевой очиститель «Aqua Vallis», принцип действия которого будет рассмотрен ниже, имеющий ресурс 200 л при скорости фильтрации 6 л/ч. По конструкции к фильтрам-бутылкам очень близко примыкают изготавливаемые фирмой «Katadin» (Швейцария) мешочные пластиковые фильтры, в нижней части которых вмонтирован фильтрующий элемент, например,

походный фильтр «Base Camp». Принцип действия – гравитационное просачивание очищаемой воды сквозь фильтрующий стекловолоконный элемент с размером пор 0,3 мкм. Ресурс элемента – 750 л.

В модифицированных гравитационных системах «Base Camp Pro 10L» и «Gravity Camp 6L» используется разновидность стекловолоконного фильтра «Ultra Flow Filter» из «glassfiber», но с размером пор 0,2 мкм, что замедляет фильтрование, но улучшает качество получаемой воды.

С 2009 г. началось производство материала «Aqua Vallis» отечественной разработки, использующей электрокинетический метод фильтрации. Первые партии этого материала содержали металлические наночастицы серебра, алюминия, либо других металлов. За счет электростатического взаимодействия этих частиц с микроволокнами материала на них накапливались положительные заряды, притягивающие к себе и тем самым задерживающие микроорганизмы, которые, как известно, обладают отрицательным зарядом. Апробация материала, проведенная в Исследовательском центре экологических наук им. КИТАСАТО (Япония) в октябре 2009 г., выявила способность этого материала задерживать 100% вирусов и бактерий [16, 23]. Однако вскоре оказалось, что внедренные в микроволокна частицы металлов в водной среде обладают определенной токсичностью, что явилось причиной замены металлов на окись алюминия и разработки новой модификации материала «Aqua Vallis» [10]. Она представляет собой нетканый полимерный волокнистый материал, полученный методом электроформования (ткань Петрянова), на волокнах которого закреплены частицы гидрата окиси алюминия, представляющие собой агломераты нановолокон. Основу материала «Aqua Vallis» составляет нетканый микроволокнистый материал из биологически инертного полимера, (ацетата целлюлозы или полисульфона). При этом высокопористые частицы гидрата оксида алюминия закреплены на волокнах как на поверхности, так и в объеме материала основы. Такие частицы гидрата оксида алюминия имеют размер 0,2–5,0 мкм, удельную поверхность 100–250 м²/г, пористость 50–95% и образованы нановолокнами, имеющими в свою очередь диаметр 5,0–8,0 нм и длину 100–200 нм.

Принцип действия фильтра «Aqua Vallis» основан на сочетании двух механизмов очистки – фильтрации и адсорбции. Частицы и микроорганизмы, размер которых превышает размер пор материала (1 мкм), удаляются из воды фильтрацией. Микробиологические загрязнения меньшего размера удаляются из воды за счет адсорбции на нановолокнах. В водной среде нановолокна, удерживающие частицы гидрата окиси алюминия, создают высокий положительный дзета-потенциал (ζ) до +40 мВ, позволяющий удерживать отрицательно заряженные микрочастицы, в том числе и микроорганизмы, размер которых меньше размера пор материала. Материал «Aqua Vallis» способен при фильтрации зараженной воды задерживать 100% вирусов, бактерий, простейших [9].

Положительный заряд фильтров позволяет им удерживать не только вирусы и бактерии, но и микро-

скопические водоросли и грибки, гуминовые вещества. В отличие от традиционных способов обеззараживания сорбционный фильтр «Aqua Vallis» удаляет из воды термоустойчивые бактерии и вирусы, устойчивые к хлору паразитов, значительно снижает концентрацию гуминовых кислот. Размер пор материала «Aqua Vallis» обеспечивает высокую скорость потока при фильтрации 2,3–9 л/мин в зависимости от модели фильтра. При необходимости в систему можно включить другие стадии водоочистки – сорбционную, например, на углеродном активированном волокне и ионообменную.

Если первые системы «Aqua Vallis» были чрезвычайно громоздки и тяжелы (первая автономная система водоочистки «Аква Валлис Мобил» весила 22 кг), то выпущенная недавно система очистки воды «General Ecology First Need XL», принцип действия которой в основном близок к системе «Aqua Vallis», весит уже менее 500 г.

Кроме того, некоторые модели фильтров-бутылок фирмы «Katadin» также, по-видимому, используют систему «Aqua Vallis». Так, по заявлению изготовителя, картридж «Virus Pur» (в системе «My Bottle») очищает воду путем электрокинетической адсорбции. Первый этап осуществляется с помощью стекловолоконного предфильтра с размером пор 0,3 мкм, устраняющего все частицы большего размера. На втором этапе «Virus Pur» набивка которого имеет центры с очень сильным положительным зарядом, притягивает отрицательно заряженные вирусы и бактерии. Третий этап фильтрации представляет собой угольный постфильтр, который устраняет органические и химические загрязнения, улучшает вкус и запах воды. Вес такого картриджа не превышает 200 г.

Индивидуальные портативные устройства типа фильтров-соломинок, выполненные в виде полых трубок со встроенным фильтро-элементом, также разделяются на водоочистители с безреагентным способом обработки и водоочистители комбинированного действия (очистка воды с дополнительным обеззараживанием химическими соединениями) [5, 8, 21, 23]. Водоочистители с безреагентным способом обработки до недавнего времени обязательно включали в себя отдельную предварительную операцию обеззараживания. К таким трубочным фильтрам относятся первые модели с микрофильтрующими элементами «Pure Water Straw», «McNitt Frontier Emergency», «Aquamira Frontier Emergency», причем последние удаляли без предварительного обеззараживания лишь крупные бактерии, простейших и их цисты [27].

Наиболее перспективными и удобными считаются водоочистители комбинированного действия. Первыми такими устройствами являлись отечественные «Тетрис», «Родник» и созданный на его основе «БИП-1» [3, 21]. Из зарубежных – индивидуальный водоочиститель типа «соломинка» фирмы «Calco Ltd» (США), а также водоочистители «MPW» с ресурсом работы 100 л и «SPW» с ресурсом 25 л фирмы «Pre-Mac» (Великобритания), который находился на снабжении в частях спецназначения [27].

В принципе блок-схема портативного индивидуального устройства водоочистки должна включать в себя четыре основных узла: предварительная очистка,

основное обеззараживание, основная чистка, окончательное обеззараживание (в некоторых моделях). В качестве узла предварительной очистки обычно используют грубоволоконный фильтр, за которым следует засыпка активированного угля. Такой узел, помимо чисто механической фильтрации, выполняет функцию сорбента, который, снижая в обрабатываемой воде содержание органических примесей, облегчает задачу следующей стадии водоочистки – дезинфекции, а именно – основное обеззараживание. Для этих целей в настоящее время в основном применяют йодсодержащие анионообменные смолы – аниониты (СИА-1 и МЕТИС-1), которые будучи помещенными в поток воды обогащают его элементарным йодом, создавая, таким образом, дезинфицирующую среду. Следующим этапом водообработки является адсорбционный этап «основной чистки», при котором остатки органических соединений, не прореагировавшего йода и йодистых радикалов поглощаются слоем сорбента. В качестве активного сорбента, как правило, применяют высоко-сортные марки активированного угля (из скорлупы кокоса) либо высокоактивные угольные волокна [25]. В этих случаях достигается даже некоторая очистка от ионов тяжелых металлов.

Последние научные разработки и созданные на их основе модели портативных фильтров в своих описаниях содержат значительную долю «know how», что зачастую усложняет понимание принципа действия этих фильтров. Это в значительной мере относится и к трубочным фильтрам типа «соломина» – самым малогабаритным и простым в использовании. Заявления изготовителей таких фильтров о том, что в некоторых из них не используется химическая обработка воды и, однако, достигается очистка даже от вирусов, явно указывает на применение в них электрокинетических систем типа «Aqua Vallis». В пользу этого косвенно может свидетельствовать уже упомянутый весьма компактный картридж «Virus Pur», модификации которого с успехом могут использоваться и в трубочных фильтрах-соломинах, в том числе и в качестве индивидуального фильтра для военнослужащих. В то же время, очевидно, что действительно полную очистку природной воды может осуществить лишь фильтр, снабженный, помимо прочего, узлом глубокой механической фильтрации (ультра-фильтрации) картриджного керамического типа либо трековыми мембранами. Лишь такие фильтры практически полностью удаляют из воды электронейтральные коллоидные взвеси, которые могут стать причиной как химического, так и бактериологического отравления: отрицательно заряженный микроорганизм может электростатически присоединиться к положительно заряженной частице коллоида с образованием электронейтрального элемента взвеси. Однако применение таких фильтров в портативном исполнении в чрезвычайных ситуациях затруднено вследствие необходимости осуществлять трудоемкую ручную помповую накачку для продавливания очищаемой воды сквозь микропоры фильтрующих узлов. На данный момент именно эта проблема на наш взгляд, ждет своего технического решения.

Литература

1. Авчинников, А.В. Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды (обзор) / А.В. Авчинников // Гигиена и санитария. – 2001. – № 2. – С. 11–20.
2. Аксеев, Н.В. Использование ионообменных смол для обеззараживания воды / Н.В. Аксеев [и др.] // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11, № 2. – С. 181–182.
3. Варшавский, В.Я. Установки (фильтры) для очистки питьевой воды: справочник / В.Я. Варшавский. – М.: Центр Москва, 1996. – 97 с.
4. Воейков, В.Л. Опасные для здоровья побочные продукты в хлорированной воде / В.Л. Воейков, Р.Р. Асфарамов, В.М. Розенталь // Экополис 2000: мат. 3-й Междунар. конф. – М.: РАМН, 2000. – С. 20–22.
5. Гриценко, В.К. Обеззараживание и очистка воды для питья с помощью портативных индивидуальных устройств / Гриценко В.К. [и др.]. – М.: ЦБНТИ Минмедпрома СССР, 1987. – Вып. 4. – 43 с.
6. Захарченко, М.П. Гигиеническая диагностика водной среды / М.П. Захарченко, Н.Ф. Кошелев, П.Б. Романов. – СПб.: Наука, 1996. – 247 с.
7. Ишук, Ю.В. Организационные и гигиенические аспекты совершенствования питьевого водоснабжения военнослужащих / Ю.В. Ишук, Е.Ф. Сороколетова, А.И. Андриянов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: мат. XVIII Всерос. науч.-практ. конф. – СПб.: НПО СМ, 2015. – С. 352–358.
8. Кирьянова, Л.Ф. Создание портативных индивидуальных устройств для очистки и обеззараживания воды в полевых условиях: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Л.Ф. Кирьянова. – М.: НИИ ВОДГЕО, 1997. – 24 с.
9. Ложкомоев, А.С. Адсорбционная способность наноструктурного оксигидрида алюминия, иммобилизованного на ацетилцеллюлозных микрофильтрах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А.С. Ложкомоев; Томский политех. ин-т. – Томск, 2009. – 20 с.
10. Ложкомоев, А.С. Роль дзета-потенциала оксигидроксида алюминия при адсорбции бактериофага MS2 / А.С. Ложкомоев // Перспективные материалы. – 2009. – № 1. – С. 39–42.
11. Миклашевский, Н.В. Чистая вода. Системы очистки / Н.В. Миклашевский, С.В. Королькова. – СПб.: Артлит, 2000. – 240 с.
12. Нечаев, А.Н. Высокопроизводительные трековые мембраны / А.Н. Нечаев [и др.] // Мембраны, серия: критические технологии. – 2003. – № 4 (20). – С. 18–22.
13. Пат. № 120370 Российская Федерация, МПК B01D 35/26 Походный фильтр для очистки воды / С.Ю. Ероцев, А.И. Кулибаба; опубл. 20.09.2012, БИ № 26.
14. Пат. № 2242270 Российская Федерация, МПК7 B 01D 61/18 Фильтр тонкой очистки жидкости и/или газа / А.Н. Домашов, Е.В. Зеленков, В.Л. Шелейковский; опубл. 20.12.2004, БИ № 35.
15. Пат. № 2372134 Российская Федерация, МПК51 B01D29/01 Корпус коллектор для пленочных мембранных фильтров очистки жидкостей и газов / А.И. Мельников, В.А. Антипов; опубл. 10.11.2009, БИ № 31.
16. Пат. № 2397781 Российская Федерация, МПК51 A 61L15/18 / Нетканый материал медицинского назначения, обладающий антибактериальной и противовирусной активностью / А.М. Дыгай [и др.]; опубл. 27.08.2010, БИ № 24.
17. Пат. № WO 2006075926A Франция / A.V. Desyatov; опубл. 22.12.2004.
18. Первов, А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки воды / А.Г. Первов. – М., 2009. – 231 с.
19. Полевые водоочистители / Зарубежная военная медицина // Информ. бюл. – 1997. – №1. – С. 51–53.
20. Рахманин, Ю.А. Гигиеническая оценка портативного индивидуального устройства для очистки воды / Ю.А. Рахманин // Мембрано-сорбционные процессы разделения веществ и их применение: тезисы докл. IV Всесоюз. науч.-техн. конф. – М., 1988. – С. 14–15.
21. Рахманин, Ю.А. Портативные индивидуальные устройства комбинированного действия с галогенсодержащим дезинфектантом / Ю.А. Рахманин [и др.] // Гигиена и санитария. – 1988. – № 3. – С. 64–66.
22. Технический справочник по обработке воды: в 2-х т.: пер. с фр.: / под ред. Г.Н. Герасимова. – СПб.: Новый журнал, 2007. – Т. 1. – С. 44.
23. Шелоболин, А.В. Как превратить воду в воду. Чистая вода из грязных источников / А.В. Шелоболин. – М.: Буки-Веди, 2013. – 193 с.
24. Breyer, Fr. Le filter a micro-membrane / Fr. Breyer. – Vienne, 1886. – 62 p.
25. Cheng-Fong, Lo. Absorbption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbon / Lo Cheng-Fong [et al.] // Chemical eng. research and design. Trans. of Inst. Of chem. Eng. – 2012. – Vol. 90, № 9. – P. 1397–1406.
26. Kang, Li. Ceramic membranes for separation and reaction / Li Kang. – Chichester, 2007. – 306 p.
27. Nanotechnology application for clean water / ed. by Nora Savage [et al.]. – Norwich, NY: William Andrew, 2009. – 592 p.

A.P. Seleznev, E.F. Sorokoletova, A.I. Andriyanov, A.V. Krivtsov, N.N. Kirichenko,
Yu.V. Ischuk, L.V. Yaschenko, E.S. Pavlinova, A.A. Selezneva

Hygienic and technical characteristics of modern individual water purification devices

Abstract. The main types of currently used devices of individual water purification up to the drinking condition are shown. It is shown that the water purification process includes steps of filtration – removal of suspended particles and microorganisms, and microfiltration – sorption and ion-exchange removal of organic compounds and heavy metals. In case of water contamination by viruses an additional step of disinfection using chlorine or iodine reagents is required. In this case it is recommended to carry out final processing using highly active charcoal or activated carbon fibers. Water treatment with the help of track membranes is particularly effective when using microfiltration. Method based on electrokinetic adsorption on aluminum hydroxide nanofibers was shown to be very promising in portable filters designed for water disinfection. The most compact types of filters such as tubular filters called «a straw» are considered. In this type of filters it is impossible to use microfiltration elements characterized by high resistance to passing through them the water flow, that is why they are less appropriate in case of turbid water, which may contain toxic colloids. Complete purification of natural water can be produced only using filter equipped in addition either by track membranes or by deep mechanical filtration (ultrafiltration) ceramic element. Only filters of this type are capable to remove from water electrically neutral colloid suspensions, which may cause both chemical and bacteriological intoxication: negatively charged microorganism can adhere to a positively charged colloid particle via electrostatic interaction, thus forming electrically neutral suspension particle. Use of pump action designs of filters though provides almost ideal clean water, but demands to carry out laborious manual pumping to push the water through the microfilter element. This particular inconvenience currently requires technical solution.

Key words: water supply of military, individual filters, microfiltration, adsorption, filter elements, aluminum hydroxide nanofibers, track membranes, viruses, disinfection.

Контактный телефон: 8-812-495-72-65; e-mail: helensoroc@yandex.ru