

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.162.82

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-177-187

В.В. ДЗЮБО,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

О ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛАХ И ПАРАМЕТРАХ РАБОТЫ ВОДООЧИСТНЫХ ФИЛЬТРОВ

В статье приведены распространенные виды фильтрующих материалов, применяемых в целях водоподготовки, и их технологические характеристики. Показано, что фильтрующий материал как технологическая структура характеризуется рядом параметров, влияющих как на параметры работы фильтровальных сооружений, так и на эффективность процесса очистки обрабатываемых природных вод. Изменяя их, можно предопределять как параметры работы самих сооружений, так и качество очищенной воды в зависимости от ее исходного качества, а при проектировании фильтровальных сооружений необходимо корректно определять наиболее экономичные параметры фильтрующего материала: высоту рабочего слоя материала, крупность и неоднородность фракций, формальную скорость фильтрования для гарантированного достижения требуемого качества очищенной воды. На основании экспериментальных исследований показано, что уменьшение крупности фракций фильтрующего материала позволяет увеличивать скорость фильтрования при сохранении качества очищенной воды и, соответственно, производительность фильтровальных сооружений благодаря повышенной удельной поверхности зерен материала, несмотря на увеличение сопротивления загрузки и потерь напора на ней.

Ключевые слова: фильтрующий материал; технологические характеристики; крупность; форма зерна; пористость; грязеемкость материала; параметры процесса фильтрования; скорость фильтрования; продолжительность фильтроцикла.

Для цитирования: Дзюбо В.В. О фильтрующих материалах и параметрах работы водоочистных фильтров // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 177–187.

V.V. DZYUBO,

Tomsk State University of Architecture and Building

FILTERING MATERIALS AND OPERATING PARAMETERS OF WATER PURIFIERS

The paper describes the widespread types of filtering materials and their specifications. It is shown that a filtering material is characterized by a number of parameters influencing both op-

erating parameters of filtering systems and the efficiency of conditioned natural water purification. Changing these parameters, it is possible to predetermine the operating parameters of filtering systems and the quality of purified water. At a design stage of filtering systems it is necessary to determine the effective parameters of the filtering material, such as the height of the working layer, fineness and heterogeneity of fractions, and filtration rate to achieve the high quality purified water. It is shown that the finer fraction of the filtering material allows to increase the filtration rate preserving the quality of obtained water and, respectively, the productivity of filtering systems due to the increased specific surface of grains despite the increase in the load resistance and pressure losses.

Keywords: filtering material; specification; fineness; grain shape; porosity; contaminant capacity; operating parameters; filtration rate; filter cycle.

For citation: Dzyubo V.V. O fil'truyushchikh materialakh i parametrakh raboty vodoochistnykh fil'trov [Filtering materials and operating parameters of water purifiers]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 1. Pp. 177–187.

Применяемые в практике водоподготовки фильтрующие природные зернистые материалы, как правило, имеют различные технологические характеристики [1, 2] не только в силу их природного происхождения: форма зерна, прочность, шероховатость и т. п., но и приобретаемые в процессе их производства, подготовки и эксплуатации: крупность, однородность и др. Подготовленный для использования в целях водоподготовки фильтрующий материал как технологическая структура характеризуется рядом параметров, так или иначе влияющих как на параметры работы фильтровальных сооружений, так и на эффективность процесса очистки обрабатываемых (фильтруемых) природных вод [3], изменяя которые можно предопределять как параметры работы самих сооружений, так и качество очищенной воды в зависимости от ее исходного качества. Более того, выводы работ [3–5] свидетельствуют о том, что характеристики (гранулометрические) фильтрующего материала, применяемого для очистки воды необходимого качества, должны определенным образом соответствовать назначаемым технологическим параметрам работы фильтровальных сооружений для достижения оптимальных условий их работы (требуемое качество получаемой воды, максимально возможная грязеемкость, минимальные эксплуатационные затраты и др.). Например, при очистке подземных вод увеличение скорости фильтрования или содержания примесей в обрабатываемой воде требует увеличения высоты слоя фильтрующего материала для достижения требуемого [6] качества получаемой воды, а увеличение крупности применяемого фильтрующего материала требует либо снижения скорости фильтрования, либо увеличения высоты слоя материала [7].

В работе [8] показаны возможные пути увеличения ресурса работы водоочистных фильтров, применяемых для различных целей водоподготовки, в том числе при обработке подземных вод. Авторы работы показали, что увеличения ресурса (продолжительности) работы фильтров можно достигнуть как технологическими приемами фильтрования, так и использованием фильтрующих материалов повышенной грязеемкости. К технологическим приемам относятся: изменение направления фильтрования, фильтрование с изменяющейся (переменной) скоростью фильтрования и др. Использование в технологиях фильтрования при водоподготовке фильтрующих материалов с различ-

ными характеристиками, такими как крупность, форма и шероховатость зерна материала, его пористость и др., – возможные пути изменения, а при необходимости и увеличения грязеемкости водоочистных фильтров и, как следствие, технологических параметров работы фильтровальных сооружений, в том числе продолжительности их работы до регенерации.

Основными технологическими параметрами фильтров с зернистыми загрузками, используемых в технологиях обезжелезивания подземных вод, являются скорость фильтрования, высота слоя фильтрующего материала, крупность фракций материала, выражаемая через эквивалентный диаметр $d_{э\text{кв}}$, а также ряд, на первый взгляд, не очень существенных параметров, таких как форма зерна материала, его пористость и неоднородность, которые в совокупности характеризуют материал как технологическую структуру, на которой протекают процессы, связанные с очисткой воды.

По виду фильтрующего материала в практике водоподготовки нашли применение фильтры с тяжелыми зернистыми и плавающими загрузками, которые (последние) способны находиться неограниченное время в воде в плавающем состоянии [3, 4]. К первой группе относятся фильтры с наиболее распространенной кварцевой и антрацитово́й загрузками, а также с загрузками из дробленого и недробленого керамзита, вулканических шлаков, активированного угля, мраморной крошки, ионообменных природных и искусственных зернистых материалов, ко второй – фильтры с пенополистирольной гранулированной загрузкой [10, 11]. В качестве плавающих или полуплавающих фильтрующих материалов могут также применяться замкнутоячеистые водонепроницаемые гранулы шунгизита, стеклопора, гранулированных шлаков, дробленые отходы от пенопластовых плит и им подобные.

В табл. 1 приведены характеристики достаточно распространенных и применяемых в практике водоподготовки зернистых фильтрующих материалов. Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод, что фильтрующие материалы в зависимости от крупности зерна обладают различной и резко отличающейся друг от друга пористостью (рис. 1).

Таблица 1

Характеристика фильтрующих материалов

Фильтрующий материал	Крупность зерен, мм	Насыпная объемная масса, кг/м ³	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Механическая прочность, %		Коэффициент формы зерна
					Истираемость	Измельчаемость	
Кварцевый песок	0,6–1,8	–	2,6–2,65	40–42	–	–	1,17
Керамзит дробленый	0,9	400	1,73	74	3,31	0,63	–
То же	1,78	380	1,68	66	2,12	0,12	4,39
»	1,7–1,8	530	2,14	60,6	2,02	0,11	3,20
Керамзит недробленый	1,18	780	1,91	48	0,17	0,36	1,29

Окончание табл. 1

Фильтрующий материал	Крупность зерен, мм	Насынная объемная масса, кг/м ³	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Механическая прочность, %		Коэффициент формы зерна
					Истираемость	Измельчаемость	
Антрацит дробленый	0,8–1,8	–	1,6–1,7	45	–	–	–
Горелые породы	1,0	1250	2,4–2,5	52–60	0,46	3,12	1,5–2,0
Шунгизит дробленый	1–1,2	650	1,8–2,18	56–65	0,9	4,9	1,7–2,0
Вулканические шлаки месторождений:							
Мастара, Ангехакот	0,9–1,1	–	2,45	63–64	0,07	1,05	2,0
Кармрашен, Шануайр	1–1,2	–	2,0	54	0,08	0,72	2,67
Аглопорит	0,8–0,9	1030	2,29	54,5	0,2	1,5	–
То же	0,85	–	–	54,5	–	–	1,8
Гранодиорит	1–1,1	1320	2,65	50,0	0,32	2,8	1,7
Клиноптилолит	1–1,15	750	2,2	51,0	0,4	3,4	2,2
Гранитный песок	0,8–1,0	1660	2,72	46,0	0,11	1,4	–
Доменные шлаки	1,0–1,8	–	2,6	42–44	–	–	–
Шлаки медно-никелевого производства	1,1–1,2	1650	3,2	48,5	2,4	2,6	2,15 1,6
Пирролизит	0,8–1,0	2200	4,24	48,0	0,35	0,95	1,75
Габбро-диабаз	1,0–1,1	1580	3,1	48,0	0,15	1,54	–

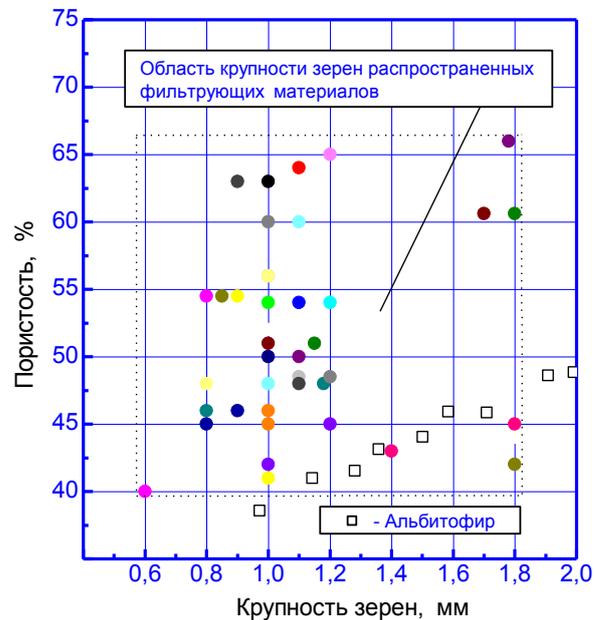


Рис. 1. Крупность и пористость фильтрующих материалов

Дефицит наиболее распространенного фильтрующего материала – кварцевого песка – привел к поиску и исследованию различных фильтрующих материалов как природного происхождения, так и искусственно создаваемых.

Следует отметить, что на территории Сибирского и близлежащих к нему регионов имеются достаточные запасы природных сырьевых материалов, на основе которых могут изготавливаться фильтрующие материалы, по своим свойствам пригодные и соответствующие для использования в технологических процессах водоподготовки систем водоснабжения населенных пунктов региона. Примером могут служить горелые породы («горелики») и альбитофир (рис. 2), нашедшие достаточно широкое распространение в практике водоподготовки в регионе.



Рис. 2. Фильтрующие материалы:
а – нефракционированный альбитофир; б – фракционированные «горелики»

Альбитофир – горная порода, промышленно добываемая в Западно-Сибирском регионе (п. Горный, Новосибирская обл.) для нужд строительного комплекса.

Дробленный фракционированный материал представляет собой колотые гранулы неправильной формы, при этом крупность промышленно получаемых фракций дробленого, отсортированного материала составляет 0,5 мм и более. В зависимости от требований заказчика загрузочный фильтрующий материал для целей водоподготовки готовится фракциями 0,8–1,2 мм; 1,5–2 мм; 2–2,5 мм; 2,5 мм и более.

Всесторонние исследования и промышленные испытания дробленого материала показали вполне удовлетворительные результаты и пригодность его для использования в качестве фильтрующего материала в технологиях очистки природных вод для различных целей (промышленное, хозяйственно-питьевое водоснабжение). В настоящее время он стал достаточно широко применяться в технологиях водоподготовки на территории региона ввиду его доступности и достаточно невысокой стоимости добычи и переработки.

Длительный опыт использования альбитофира в качестве фильтрующего материала однослойных фильтров на станции обезжелезивания подземных вод

г. Томска показал, что обычная водяная промывка его обратным током с технологическими параметрами, рекомендуемыми сводом правил [12], является недостаточно эффективной: рабочий слой материала недостаточно взрыхляется (расширяется), что со временем приводит к его слеживанию, как правило, плохой регенерации, что в конечном итоге ухудшает работу фильтров по качеству получаемой очищенной воды. Объясняется это тем, что по сравнению с рекомендуемыми [12] материалами альбитофир тяжелее и требует корректировки технологических параметров работы фильтровальных сооружений.

Опыт эксплуатации фильтровальных сооружений, загруженных альбитофиром различных фракций, на различных станциях обезжелезивания подземных вод на территории Западно-Сибирского региона показал, что переоборудование фильтровальных сооружений (станция обезжелезивания подземного водозабора (ПВЗ) г. Томска, г. Стрежевого, Томская обл.) на использование водовоздушной промывки с одновременным повышением интенсивности подачи воды на стадии водяной промывки либо увеличение интенсивности промывки при обычной водяной промывке, или применение технологии гидродинамической импульсной водяной промывки позволило добиться стабильной и эффективной работы фильтровальных сооружений.

Характеристики дробленого и фракционированного альбитофира приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика дробленого альбитофира

Крупность фракций d_s , мм ($K_{неодн} \leq 1,2$)	Пористость n_0	a , м ² /м ³
0,5	0,20	14800
1,0	0,25	7930
1,5	0,35	4480
2,0	0,42	2590
2,5	0,46	1930
3,0	0,50	1650
3,5	0,53	1490

СП [12] достаточно упрощенно рекомендует технологические параметры работы фильтров, используемых в технологиях водоподготовки, и в частности обезжелезивания подземных вод, причем в достаточно узком рекомендуемом диапазоне типов фильтрующих материалов и их параметров, не говоря уже о разнообразии состава очищаемых природных вод, который (состав) СП вообще не регламентирует в отношении рекомендуемых фильтрующих материалов и параметров работы фильтров.

В работе [7] авторы указывали на сложность и неоднозначность выбора эффективных технологических приемов (технологий) очистки подземных вод в зависимости от качества последних, а также о существующих и предложенных вариантах выбора наиболее эффективных технологий.

В данной работе рассматривается стадия фильтрования как технологическая ступень в общей технологической цепочке водоподготовки, а именно

результаты по изучению влияния характеристик фильтрующего материала на технологические параметры работы фильтровальных сооружений и эффективность очистки природных вод.

Ниже приведено известное уравнение, связывающее основные характеристики фильтрующего материала с одним из основных технологических параметров работы фильтровальных сооружений – потерями напора по высоте фильтрующей загрузки:

$$\frac{\Delta p}{h} = \frac{6\alpha \cdot \varphi(\text{Re}) \rho_v v_{\text{н}}^2 (1 - n_0)}{n_0 d_s},$$

где $\Delta p/h$ – потеря напора на единицу толщины зернистого слоя, м; $v_{\text{н}}$ – истинная средняя скорость потока в толще слоя, см/с; $\text{Re} = \rho_v v_{\text{н}} l / \mu$ – число Рейнольдса; μ – динамическая вязкость, Па·с; $\varphi(\text{Re}) = \psi$ – коэффициент сопротивления; l – характерный линейный параметр – гидравлический радиус зернистого слоя, см: $l = n_0 a^{-1}$, где a – суммарная поверхность зерен в единице объема загрузки, равная для зерен любой формы:

$$a = 6\alpha(1 - n_0) / d,$$

где α – коэффициент формы зерен; d – диаметр шара, равновеликого по объему зернам загрузки; n_0 – пористость плотно лежащей загрузки.

Из приведенного уравнения видно, что потери напора на единицу высоты фильтрующего слоя будут тем больше, чем меньше размер зерен загрузки и ее пористость, т. е. при уменьшении размера зерна фильтрующего материала возрастает гидравлическое сопротивление фильтровального сооружения. Данное положение необходимо принимать во внимание при проектировании фильтровальных сооружений и определении вида и характеристик фильтрующего материала.

С другой стороны, уменьшение размера зерен позволяет увеличить суммарную удельную поверхность a , $\text{м}^2/\text{м}^3$, фильтрующего материала (рис. 3), что является существенным фактором при очистке подземных вод, когда важную роль играет контакт обрабатываемой воды с каталитической пленкой, образующейся на зернах загрузки. Увеличение площади соприкосновения обрабатываемой воды с зернами загрузки увеличивает массообменные характеристики фильтров.

Не менее важным в работе фильтровальных сооружений при очистке подземных вод является процесс регенерации (промывки) фильтрующего материала (загрузки). В работе [9] показано, что для достижения требуемого относительного расширения загрузки при промывке скорость восходящего потока воды должна быть тем больше, чем больше плотность материала загрузки ρ_s и диаметр d зерен загрузки. Требуемая скорость $v_{\text{воск}}$ уменьшается с увеличением коэффициента формы, т. е. для угловатых частиц с увеличением вязкости воды (т. е. при низких температурах воды) и с уменьшением пористости материала n_0 . Потери напора при промывке фильтров тем больше, чем больше высота фильтрующего слоя h , плотность материала загрузки и чем меньше пористость фильтрующего материала.

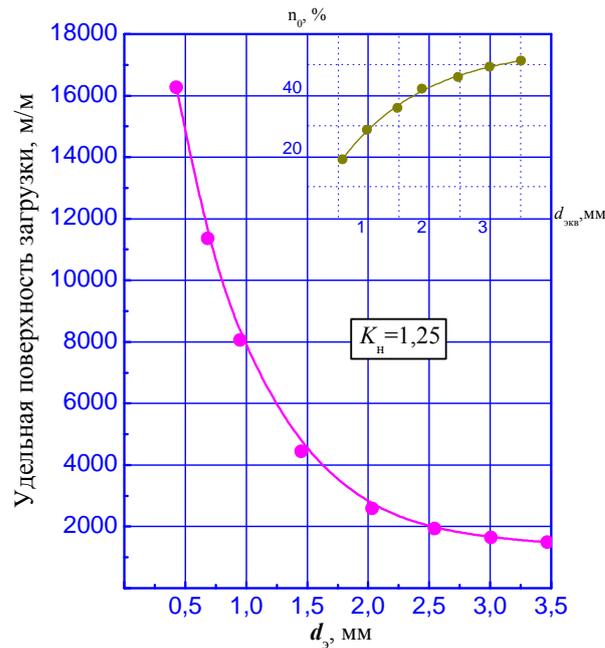


Рис. 3. Удельная поверхность зерен альбитофира различной крупности

Для определения роли массообменных характеристик фильтрующего материала в процессе очистки подземных вод исследования проводились на материалах, отличающихся по крупности зерна.

Исследования проводились на фильтровальных колонках диаметром 100 мм, которые загружались отсеянным фильтрующим материалом (альбитофир), при этом исследуемый интервал крупности фракций составлял 0,8–3,0 мм, разброс крупности фракций материала в исследуемом слое материала колонки составлял: 0,8–1,0 мм; 1,2–1,5 мм; 1,8–2,0 мм; 2,5–3,0 мм, а высота плотно лежащего слоя материала изменялась в пределах 0,5–1,5 м.

Для оценки роли характеристик фильтрующего материала в процессе очистки подземных вод технологическая схема для всех режимов оставалась неизменной, а изменялись лишь параметры и режимы работы фильтров: высота слоя материала в фильтре, крупность фракций материала, формальная скорость фильтрования воды в фильтре – q_v/F , q_v – расход фильтруемой воды, м³/ч; F – площадь сечения фильтра, м².

Невысокое содержание в подземной воде природной органики (не более 4 мг/л по KMnO_4) при соотношении в исходной воде $\text{Fe}^{2+}/\text{Mn}^{2+}$ не менее 3:1 эффективная очистка подземных вод достигалась сочетанием различных приемов дегазации-аэрации и фильтрования, при этом в качестве изучаемого фильтрующего материала был выбран альбитофир, как местный сырьевой материал, пригодный для целей водоподготовки.

Технологическая схема в соответствии с качеством обрабатываемых подземных вод включала стадию глубокой дегазации-аэрации и одноступенчатое фильтрование.

Согласно выбранной технологии подземная вода на первом этапе подвергалась дегазации-аэрации с целью удаления растворенных газов – свободного диоксида углерода, сероводорода и метана с одновременным насыщением воды атмосферным кислородом, необходимым для окисления растворенных форм основных загрязнителей Fe и Mn. С целью полного удаления метана, сероводорода и максимального снижения содержания CO_2 для повышения величины рН, что способствует увеличению скорости окисления железа и марганца, для дегазации-аэрации применялись вихревые форсунки с тангенциально-расположенными воздушными каналами [13].

Разбрызгивание через вихревую форсунку (1-й этап) исходной подземной воды, в которой было отмечено лишь следовое количество растворенного кислорода, на открытую водную поверхность резервуара с высоты 0,2–0,5 м, где вода находилась в течение 1–3 мин, в зависимости от пропускаемого через форсунку расхода воды, позволяло достигнуть содержания растворенного кислорода в воде (соответственно высоте разбрызгивания) в пределах 5,8–8,2 мг/л. Таким образом, в результате дегазации в обработанной воде содержался достаточный запас растворенного в воде кислорода.

Установили экспериментально оптимальные параметры работы форсунки, которые в дальнейших исследованиях оставались неизменными. В результате дегазации-аэрации обработанная подземная вода не удовлетворяла требованиям [6] лишь по содержанию Fe и Mn и содержала достаточное количество растворенного кислорода для их окисления.

Фильтрация (2-й этап) обработанной воды осуществлялась поочередно на фильтровальных колонках, которые отличались друг от друга параметрами работы, указанными выше.

Изучение работы альбитофира как фильтрующего материала в процессе очистки подземных вод показало, что уменьшение крупности фракций материала (d_s) позволяет увеличивать формальную скорость фильтрации при сохранении качества очищенной воды в соответствии с [6] и производительность фильтра благодаря повышенной удельной поверхности зерен материала, несмотря на то, что при этом увеличивается сопротивление загрузки и потери напора на ней. Сравнение режимов работы фильтров с материалом различной крупности позволило установить, что при одинаковом качестве очищаемой исходной воды и равной формальной скорости фильтрации требуемая высота слоя материала тем больше, чем больше крупность зерен материала.

Результаты показали, что увеличение высоты слоя материала практически пропорционально уменьшению удельной поверхности его зерен в зависимости от крупности фракций материала (d_s).

Изучая работу материала различной крупности при разных формальных скоростях фильтрации воды, отметили что слой фильтрующего материала не всегда работает полной высотой, а с другой стороны, в отдельных случаях установленная высота слоя фильтрующего материала не позволяла достигать требуемого качества очищенной воды при определенной крупности фракций материала. Иными словами, при определенных соотношениях скорости фильтрации (фильтрация «сверху-вниз») и крупности фракций материала соответствующее нормам [6] качество воды достигается на разной глубине ма-

териала, что подтверждалось анализом отбираемых проб воды по высоте слоя фильтрующего материала в фильтре.

Таким образом, проведенные исследования на фильтрующем материале альбитофире по изучению влияния характеристик материала на технологические параметры работы фильтровального сооружения позволили сделать следующие выводы.

1. В технологических схемах водоподготовки фильтрованием через зернистый фильтрующий материал в зависимости от исходного качества обрабатываемой воды необходимо корректно определить наиболее экономичные параметры фильтрующего материала: высоту рабочего слоя материала, крупность и неоднородность фракций, формальную скорость фильтрования для гарантированного достижения требуемого качества очищенной воды.

2. Уменьшение крупности фракций фильтрующего материала позволяет увеличивать скорость фильтрования при сохранении качества очищенной воды и, соответственно, производительность фильтровальных сооружений благодаря повышенной удельной поверхности зерен материала, несмотря на увеличение сопротивления загрузки и потерь напора на ней.

3. В зависимости от качества обрабатываемой воды требуемая высота слоя фильтрующего материала тем больше, чем больше крупность зерен материала и выше скорость фильтрования, при этом необходимое увеличение высоты слоя фильтрующего материала практически пропорционально уменьшению удельной поверхности его зерен в зависимости от крупности фракций материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Л.: Стройиздат, 1985. 118 с.
2. Дзюбо В.В., Алферова Л.И. Фильтрующие материалы на основе природного и технологического сырья, пригодные для целей водоподготовки в Сибирском регионе // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2009. № 8. С. 25–34.
3. Журба М.Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. Львов: Изд-во Львовского университета, 1980. 199 с.
4. Аюкаев Р.И. Интенсификация работы водоочистных фильтров и совершенствование метода их расчета. Петрозаводск: ПГУ, 1985. 136 с.
5. Ярошевская Н.В., Кульский Л.А. Очистка воды фильтрованием с нестационарным изменением скорости // Химия и технология воды. 1989. № 3. С. 251–253.
6. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 103 с.
7. Дзюбо В.В. Подготовка подземных вод для питьевого водоснабжения малых населенных пунктов Западно-Сибирского региона: автореф. дис. ... докт. техн. наук. СПб, 2007. 37 с.
8. Дзюбо В.В., Алферова Л.И. Повышение ресурса работы водоочистных фильтров // Экология промышленного производства: межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «ВИМИ». 2018. Вып. 1. С. 29–33.
9. Артеменок Н.Д. Очистка подземных вод нефтегазоносных регионов Западной Сибири для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения: дис. ... докт. техн. наук. СПб, 1992.
10. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. М.: Стройиздат, 1992. 176 с.
11. Журба М.Г. Фильтры с полимерной плавающей загрузкой для систем водоснабжения // Экспресс-информ. Сер. 3. М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1987. Вып. 2. 56 с.
12. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02–84*. М., 2012. 135 с.

13. Дзыубо В.В., Алферова Л.И. Вихревое оборудование глубокой дегазации-аэрации подземных вод // Сантехника. 2005. № 3. С. 12–17.

REFERENCES

1. Ayukayev R.I., Melzer V.Z. *Proizvodstvo i primeneniye fil'truyushchikh materialov dlya ochistki vody* [Production and use of filtering materials for water purification]. Leningrad: Stroyizdat, 1985. 118 p. (rus)
2. Dzyubo V.V., Alferova L.I. *Fil'truyushchie materialy na osnove prirodnogo i tekhnologicheskogo syr'ya, prigodnye dlya tselei vodopodgotovki v Sibirskom regione* [Filtering materials based on natural and industrial raw materials suitable for water treatment in the Siberian region]. *Vodoochistka, Vodopodgotovka, Vodosnabzhenie*. 2009. No. 8. Pp. 25–34. (rus)
3. Zhurba M.G. *Ochistka vody na zernistykh fil'trakh* [Water purification with granular filters]. Lvov: Lvov University, 1980. 199 p. (rus)
4. Ayukayev R.I. *Intensifikatsiya raboty vodoochistnykh fil'trov i sovershenstvovanie metoda ikh rascheta* [Intensification and analysis of operation of water treatment filters]. Petrozavodsk: PGU, 1985. 136 p. (rus)
5. Yaroshevskaya N.V., Kul'sky L.A. *Ochistka vody fil'trovaniem s nestatsionarnym izmeneniyem skorosti* [Water filtering at non-stationary filtering rate]. *Khimiya i tekhnologiya vody*. 1989. No. 3. Pp. 251–253. (rus)
6. SanPiN 2.1.4.1074–01. *Pit'evaya voda. Gigenicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy* [Drinking water. Hygienic requirements for centralized systems of drinking water supply. Quality control. Sanitary and epidemiologic rules and standards]. Moscow, 2002. 103 p. (rus)
7. Dzyubo V.V. *Podgotovka podzemnykh vod dlya pit'evogo vodosnabzheniya malykh naseleennykh punktov Zapadno-Sibirskogo regiona: Avtoref. diss. ... d–ra tekhn. nauk* [Preparation of underground waters for drinking water supply in settlements of the West Siberian region. DSc Abstract]. St.-Petersburg, 2007. 37 p. (rus)
8. Dzyubo V.V., Alferova L.I. *Povysheniye resursa raboty vodoochistnykh fil'trov* [Operation improvement of water treatment filters]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2018. No. 1. Pp. 29–33. (rus)
9. Artemenok N.D. *Ochistka podzemnykh vod neftegazonosnykh regionov Zapadnoi Sibiri dlya tselei khozyai-stvenno-pit'evogo vodosnabzheniya: Diss. ... doktora tekhn. nauk* [Purification of underground waters of oil-and-gas regions of Western Siberia for economic and drinking water supply. DSc Thesis]. St.-Petersburg, 1992. (rus)
10. Zhurba M.G. *Penopolistirolnyye fil'try* [Polystyrene foam filters]. Moscow: Stroyizdat, 1992. 176 p. (rus)
11. Zhurba M.G. *Fil'try s polimernoj plavayushchei zagruzkoi dlya sistem vodosnabzheniya* [Filters with polymeric floating loading for systems of water supply]. *Ekspress-inform*. Ser. 3. Moscow: TsBNTI Minvodkhoza SSSR 1987. No. 2. 56 p. (rus)
12. SNiP 2.04.02–84* *Svod pravil. Vodosnabzhenie. Naruzhnyye seti i sooruzheniya* [Set of rules. Water supply. External networks and constructions]. Moscow, 2012. 135 p. (rus)
13. Dzyubo V.V., Alferova L.I. *Vikhrevoe oborudovaniye glubokoi degazatsii aeratsii podzemnykh vod* [Vortex equipment of deep decontamination of underground waters]. *Santekhnika*. 2005. No. 3. Pp. 12–17. (rus)

Сведения об авторе

Дзыубо Владимир Васильевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, dzv1956@mail.ru

Authors Details

Vladimir V. Dzyubo, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia, dzv1956@mail.ru