

УДК 628.161.2

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОПОКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

*Е. В. Москвичева**, *А. В. Москвичева**, *Д. В. Щитов***, *П. В. Сидякин***

**Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет (Россия),*

***Институт сервиса, дизайна и туризма (филиал Северо-Кавказского
федерального университета) (г. Пятигорск, Россия)*

Представлены результаты исследования сорбционных свойств опоки в статических и динамических условиях. Установлено, что опока обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к ионам железа (III).

Ключевые слова: сорбция, очистка промывных вод станций обезжелезивания.

The paper presents the results of investigations into sorption properties of flask under static and dynamic conditions. It has been found out that flask has high sorption capacity as far as iron ions (III) are concerned.

Key words: sorption, wash water treatment at iron removal stations.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения значительного числа сельских поселений Волгоградской области используется вода подземных источников. В большинстве случаев в подземной воде наблюдается повышенное содержание железа (до 4 мг/л), а также других соединений, которые ухудшают ее показатели и свойства [1]. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» регламентирует содержание железа в питьевой воде не более 0,3 мг/л [2].

Обезжелезивание воды – это процесс удаления железа, которое находится в составе воды в виде сложных растворов, соединений и пр. Основные пути поступления железа в воду, получаемую из природных источников, являются процессы выветривания, эрозии почв и растворения горных пород.

Процесс обезжелезивания предотвращает образование осадка внутри трубы, который может повлиять на работоспособность и пропускную мощность трубопровода.

Наиболее распространенным методом обезжелезивания воды является фильтрование через зернистую загрузку с предварительной глубокой либо упрощенной аэрацией [3, 4]. Регенерация фильтров осуществляется водяной промывкой. Доля воды, расходуемой для промывки, может достигать до 10 % от общего расхода очищаемой воды [4]. Промывные воды, образующиеся при промывке фильтров станций обезжелезивания, характеризуются высоким содержанием железа, концентрация которого достигает 200 мг/л.

Зачастую, промывные воды станций обезжелезивания сбрасываются в городскую канализационную сеть, и далее поступают на канализационные очистные сооружения. Однако при этом способе происходит значительное загрязнение поверхностных и подземных вод, почвы.

Таким образом, для повышения эффективности работы очистных сооружений, а также реализации повторного использования промывных вод станций обезжелезивания необходимо принять меры по совершенствованию технологического режима работы с помощью перспективных методов очистки промывных вод.

Анализ информации, приведенной в литературе, и современного положения дел на станциях обезжелезивания свидетельствует об актуальности и целесообразности создания высокоэффективных технологий обработки промывных вод. Это позволит сократить расходы воды на собственные нужды станции, снизить себестоимость водоподготовки, предотвратить воздействие на окружающую среду, уменьшить забор подземных вод.

Подход к очистке вод от железа различен. На сегодняшний день существуют следующие способы обезжелезивания природных вод [4, 6]:

- 1) очистка воды от железа при помощи аэрации; очистка воды окислением двухвалентного железа с добавлением сильных окислителей;
- 2) очистка воды осаждением коллоидного железа традиционным промышленным способом;
- 3) очистка воды от железа при помощи каталитического окисления с последующей фильтрацией;
- 4) очистка воды от железа ионообменным методом;
- 5) очистка воды от железа мембранными методами;
- 6) очистка воды от железа биологическим обезжелезиванием;
- 7) очистка воды от железа электромагнитным полем;
- 8) сорбционный метод обезжелезивания природных вод.

Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых показали перспективность применения сорбционного метода для очистки воды от многих загрязнителей. Кроме того, на сегодняшний день существует значительное количество сорбентов отечественного и зарубежного производства, позволяющих применять сорбционную технологию для очистки от ионов железа. Однако применение того или иного материала должно быть обосновано технико-экономическим расчетом, и, главное, особенно-

стью и уникальностью химических свойств железа и его соединений, входящих в состав промывных вод станций обезжелезивания.

В результате проведенных предварительных исследований предложено использовать природный минерал – опоку для создания сорбента для очистки промывных вод от железа. Для выбора условий проведения процесса очистки промывных вод станций обезжелезивания был изучен механизм сорбции, который основан на силах химического взаимодействия. Физическая и химическая сорбции дополняют друг друга, но опока имеет такую поверхность, на которой положение адсорбтива фиксировано, что позволяет более полно использовать при очистке сорбционную поверхность.

Первоначально в рамках первого этапа были проведены эксперименты в статических условиях по определению сорбционной емкости в отношении ионов железа (III) при высоких исходных концентрациях, характерных для промывных вод.

Эксперименты по изучению кинетики поглощения ионов железа (III) из водных растворов проводились путем контактирования модельных растворов (по 0,25 дм³) хлорида железа (III) с навесками сорбента (от 5 до 15 г) при постоянном перемешивании в течение 60 минут с помощью магнитной мешалки. Затем растворы отделялись от взвешенных частиц сорбента, фильтрованием через бумажный фильтр, и в них определялась равновесная концентрация иона железа (III). По разности исходных и равновесных концентраций определялась сорбционная емкость сорбента по ионам железа (III) и построена изотерма их поглощения.

Время контакта 30 мин. определено на основании опыта по динамике изменения содержания в пробе ионов железа (III) при сорбции опокой во времени (рис. 1). Показано, что сорбционное равновесие наступает через 45–50 минут контактирования модельного раствора с сорбентом.

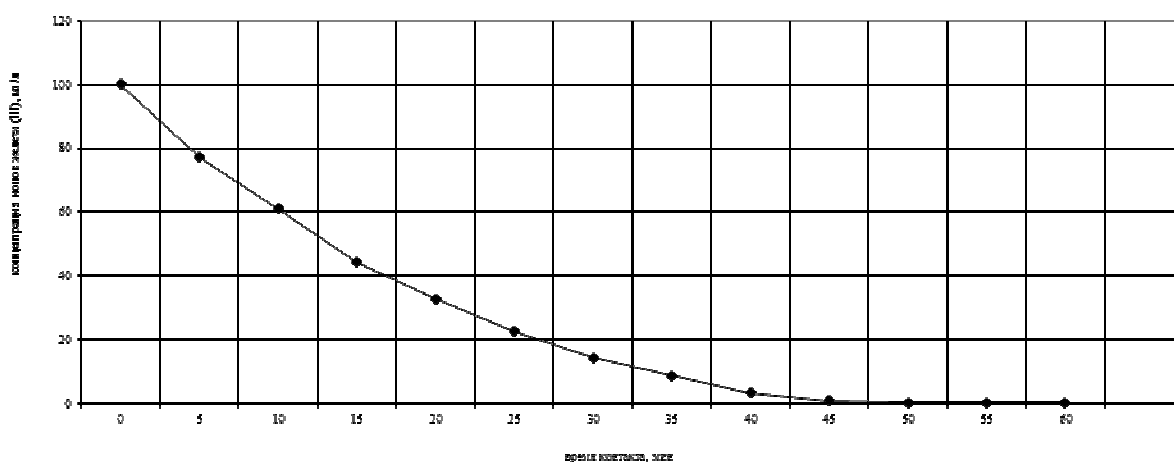


Рис. 1. Зависимость остаточной концентрации железа в модельных растворах после контакта с опокой от времени контакта

Результаты экспериментов по определению сорбционных характеристик гранулированного алюмосиликатного сорбента – опоки по отношению к ионам железа (III) (изотерма сорбции железа на гранулах опоки) представлены на рисунке 2.

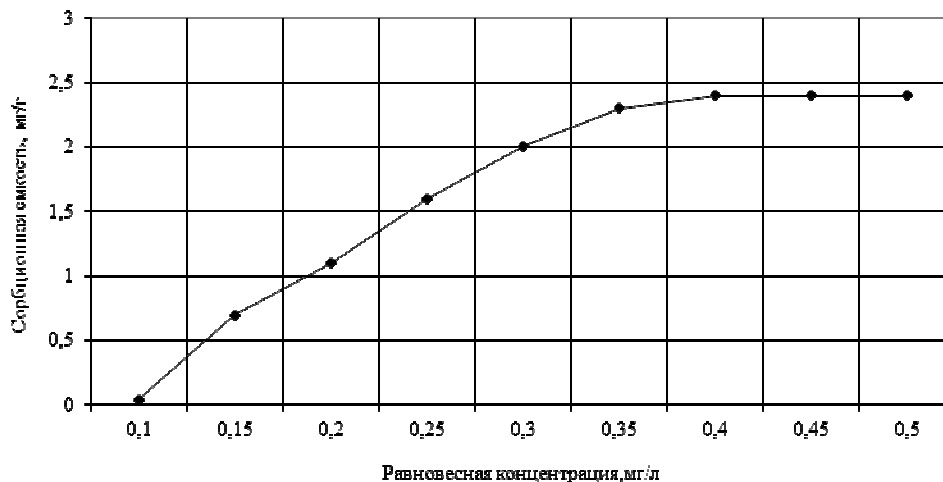


Рис. 2. Изотерма сорбции ионов железа опокой

На графике видно, что при использовании в качестве сорбента опоки обеспечивается удаление железа (III) до допустимых концентраций при его высокой начальной концентрации (до 200 мг/л). Также, из полученной изотермы сорбции ионов железа гранулированной опокой следует, что с повышением равновесной концентрации иона металла в растворе сорбционная емкость увеличивается.

Таким образом, опыты с применением опоки продемонстрировали возможность достижения нормативов допустимой концентрации ионов железа (III) в воде, используемой для промывки фильтров. Сорбционная емкость опоки по железу составляет 2,1 мг/г.

В ходе лабораторных исследований изучалось также влияние размера частиц сорбционного материала на эффективность очистки, так как его уменьшение приводит к увеличению площади контакта сорбента с очищаемой водой и, как следствие, значительно повышает величину адсорбции загрязняющих веществ из раствора. Однако, известно, что чрезмерное увеличение удельной поверхности сорбента путем сверхтонкого измельчения приводит к нарушению его структуры и как следствие к изменению в ту или иную сторону сорбционных свойств. Поэтому при использовании сорбента необходимо определить оптимальную дисперсность его частиц.

Изотерма сорбции железа частицами сорбционного материала различной крупности (от 1 до 10 мм) из модельных растворов железа с концентрацией 150–200 мг/л, представленная на рисунке 3, иллюстрирует влияние удельной поверхности сорбента на его сорбционную емкость.

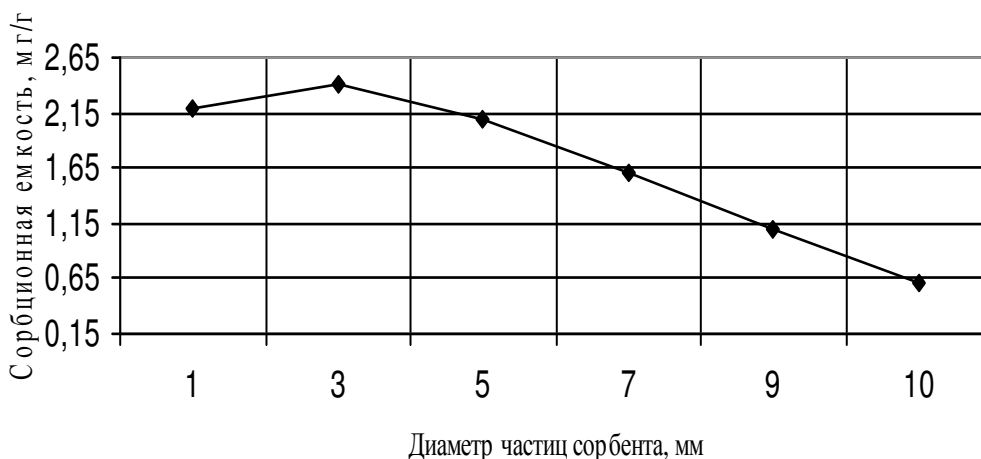


Рис. 3. Зависимость сорбционной емкости от размера частиц исследуемого материала: исходная концентрация $Fe^{3+} = 200$ мг/л

Полученные данные свидетельствуют, о том, что при увеличении значений удельной поверхности сорбента его сорбционные свойства возрастают, до определенного момента, а затем снижаются. Таким образом, следует отметить, что существует определенная (оптимальная) крупность рассматриваемого материала, при которой сорбционная емкость достигает своего максимума и использование сорбента с более высокой степенью измельчения не приводит к значительному улучшению сорбционных характеристик, а только резко увеличивает стоимость подготовки сорбента.

Изучение сорбционных характеристик опоки показало, что этот материал эффективно извлекает ионы железа из водных растворов. При определенных дозах сорбента его применение обеспечивает глубокое (до нормативов ПДК) удаление этого металла при высоких исходных концентрациях.

В процессе научно-исследовательской работы определены динамические и объемные емкости выбранного материала и определены оптимальные условия процессов сорбционного извлечения ионов железа (III) в динамических условиях.

Эксперименты по определению этих параметров и условий проведения процессов глубокой очистки промывных вод станций обезжелезивания от ионов железа проводились в динамических условиях фильтрованием модельных растворов соли железа (III), через модели фильтров, загруженные опокой.

Испытания минерала различных фракций проводились в лабораторном насыпном фильтре, схема которого показана на рисунке 4. Испытуемый сорбент помещался в стеклянный адсорбер (3). Между напорным сосудом (1) и адсорбером (3) был установлен моностаг – открытый сверху цилиндр (2) из стекла для замера гидравлического сопротивления сорбента, контроля и установления расхода воды. Загрузку адсорбера производили сверху. Разборку адсорбера и удаление слоя адсорбента выполняли в обратном порядке.

Испытания по удалению ионов тяжелых металлов в динамических условиях проводились в течение ~ 1,0 месяца. За этот период через фильтр

с загрузкой сорбента пропущено ~ 120 л модельного раствора (раствора железа (III)). Общая масса опоки в фильтре составляла 530 г.

Для проведения экспериментов по извлечению ионов металлов приготавливались растворы хлорида железа с концентрацией ионов металла ~150–180 мг/л, что соответствовало концентрации металла в реальных промывных водах.

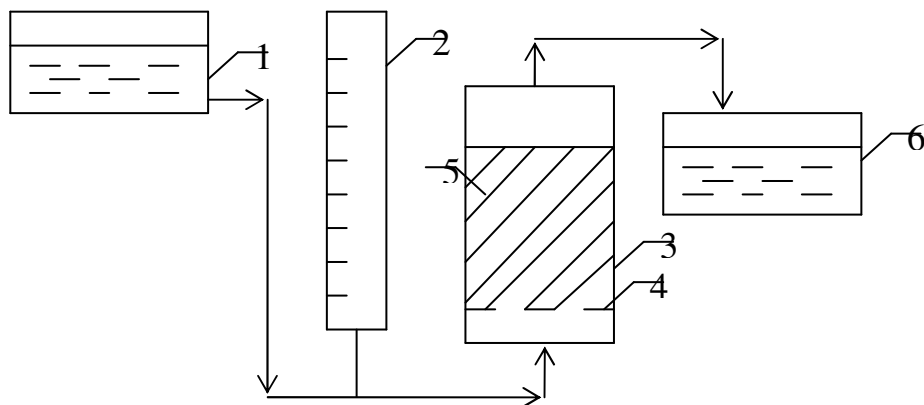


Рис. 4. Схема лабораторной установки: 1 – приемный резервуар; 2 – индикатор давления; 3 – адсорбер; 4 – поддерживающая сетка; 5 – слой сорбента – опоки; 6 – приемный резервуар для очищенной воды

В процессе эксперимента приготовленный раствор соли железа подавался в реактор с постоянным расходом – 4,0–4,4 л/сутки, при этом скорость фильтрования составляла 0,5–0,58 м/ч, а время пребывания в адсорбере (3) – в среднем 5,4 ч.

Периодически, первоначально 2–3 раза в сутки, а затем 1 раз в сутки (последующие опыты) отбирались пробы фильтрата после адсорбера (3), в которых определялась остаточная концентрация иона железа (III) и рассчитывалась эффективность его удаления.

На рисунках 5–8 приведены результаты экспериментов по изучению сорбционной емкости гранулированного алюмосиликатного сорбента – опока в динамических условиях по отношению к ионам железа (III) мг/л.

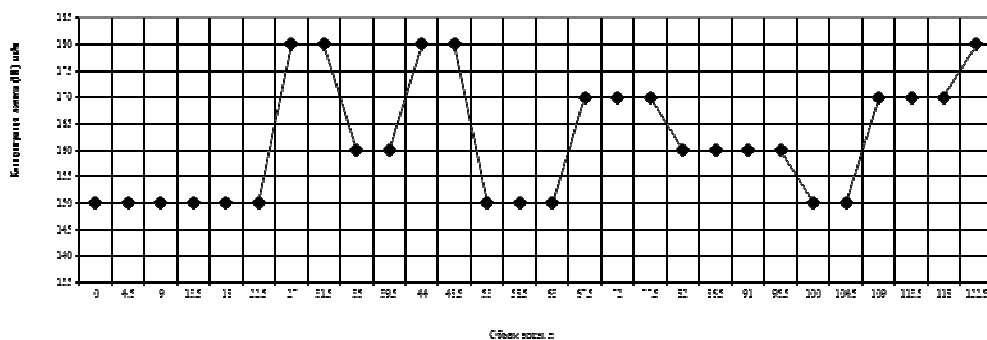


Рис. 5. График подачи модельного раствора (объем пропущенного модельного раствора) и исходная концентрация железа (III) в модельном растворе, мг/л

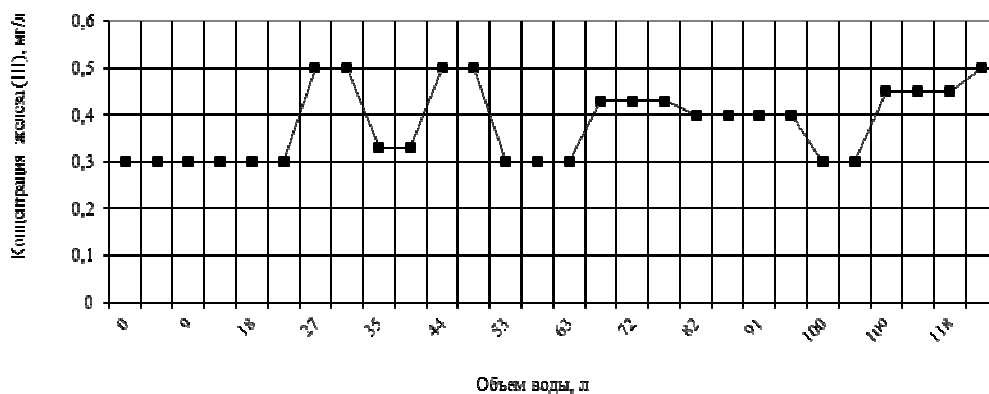


Рис. 6. Зависимость остаточной концентрации железа (III) от объема пропущенного модельного раствора (в соответствии с рис. 5).

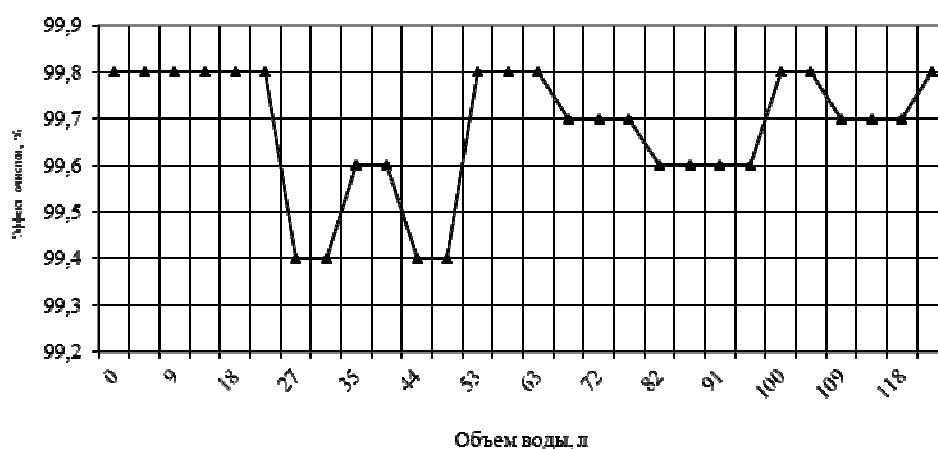


Рис. 7. Зависимость эффекта очистки модельных растворов железа (III) от объема пропущенного модельного раствора (в соответствии с рис. 5)

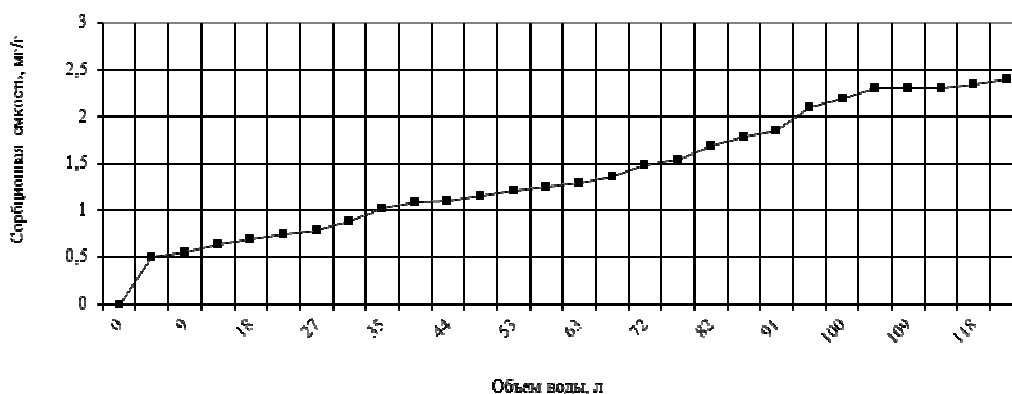


Рис. 8. Зависимость динамической сорбционной емкости опоки от объема пропущенного модельного раствора (в соответствии с рис. 5)

Практически, с начала эксперимента ионы железа (III) полностью извлекаются из раствора и в фильтрате на выходе их концентрация составляет 0,3 мг/л. Эффективность сорбции ионов железа (III) достигала 99,8 %.

За весь период эксперимента пропущено 122,5 л воды с концентрацией ионов железа (III) в среднем 158,2 мг/л, т. е. подано 19379,5 мг железа (III).

С фильтратом из адсорбера (3) (рис. 4) вышло 581,385 мг железа (III).

На рисунке 8 представлена изотерма сорбции ионов железа на опоке в динамических условиях.

Из рисунка 8 видно, что сорбционные (поглощающие) свойства сорбента – опоки характеризуются эффективным извлечением ионов железа (III).

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании ранее проведенного анализа и обобщения литературных данных по глубокой очистке природных и сточных вод от ионов металлов (железа) обоснована принципиальная возможность применения для этой цели сорбционного фильтрования.

2. Сравнительные экспериментальные исследования процессов сорбции тяжелых металлов различными сорбентами показали, что в качестве «агента связывания» ионов железа (III) в процессе сорбционного их удаления из водных сред целесообразно использовать опоку.

3. Установлено, что применение опоки для сорбционной очистки воды в статических условиях может обеспечить удаление из водных сред ионов железа (III) до нормативов воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды – до 0,3 мг/л.

4. Статическая сорбционная емкость опоки при равновесных концентрациях, равных ПДК, для железа составляет 2,4 мг/г.

5. Установлено, что на сорбционную емкость опоки влияет размер частиц сорбента. Определен оптимальный размер частиц опоки, который находится в интервале 1–3 мм.

6. Доказано, что применение опоки для сорбционного фильтрования может обеспечить удаление из водных сред ионов железа (III) до нормативов воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды – до 0,3 мг/л.

7. Динамическая сорбционная емкость опоки при остаточных концентрациях, равных ПДК, для железа составляет 2,3 мг/г.

8. Установлено, что на сорбционную емкость опоки влияет расход очищаемой воды.

Список литературы

1. Журба М. Г., Соколов М. А., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учебное пособие : в 3 т. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во АСВ, 2010. – Т. 1. Системы водоснабжения. Водозаборные сооружения.

2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. – М. : ИИЦ Госкомсанэпиднадзора РФ, 2001.

3. Журба М. Г., Соколов М. А., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учебное пособие : в 3 т. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во АСВ, 2010. – Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод.
4. Николадзе Г. И., Сомов М. А. Водоснабжение. – М. : Стройиздат, 1995 .
5. Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты : учебное пособие для вузов. – 4-е изд. – М., 2008.
6. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. – М. : Стройиздат, 1982.