



Сравнение эффективности загрузочных материалов, применяемых в фильтрах на заключительных стадиях очистки воды

Рецензия эксперта на статью получена
17.12.2020 [Expert review on the article
received on December 17, 2020].

Доочистка сточных вод цеолитом

Основными загрязняющими веществами в России являются соединения азота, нефтепродукты, сульфаты, хлориды и тяжёлые металлы. Кроме того, в ряде регионов остро стоит проблема очистки воды от соединений железа. Одним из возможных путей решения данных проблем является использование недорогих и эффективных сорбентов-ионообменников — природных цеолитов.

Минералы обладают высокой селективностью к крупным катионам, способностью удерживать воду, соединения тяжёлых металлов и радионуклидов, пролонгировать действие питательных веществ минеральных удобрений, кормов, лечебных препаратов. Природные дегидратированные цеолиты способны сорбировать молекулы разных веществ, поглощать воду, газы, жидкости и твёрдые вещества. Интенсивность адсорбции обусловлена огромной внутренней поверхностью кавернозной структуры минерала, достигающей 47%, в то время как у искусственных цеолитов этот показатель составляет 50 %, а стоимость выше в разы.

К достоинствам природных цеолитов следует отнести их способность к регенерации, и как следствие, возможность применения в многоцикловом режиме.

Как полезное ископаемое цеолит имеет необычайно широкую сферу использования в промышленности и сельском хозяйстве. Его применяют для очистки питьевых и технических вод, в нефтехимии — как осушитель газов и сред, для извлечения радионуклидов в качестве катализатора, в строительстве, для улучшения почвы, в качестве удобрения, для подкормки животных и т.д.

Природные дегидратированные цеолиты способны сорбировать молекулы разных веществ, поглощать воду, газы, жидкости и твёрдые вещества. Интенсивность адсорбции обусловлена огромной внутренней поверхностью кавернозной структуры минерала цеолита

В отличие от кварцевого песка цеолитовые фильтры позволяют улучшить качество очищаемой воды и повысить технологические параметры работы очистных сооружений. Такие фильтры надёжны в эксплуатации. Фильтр с цеолитовой загрузкой удаляет цветность, мутность, фитопланктон, при этом цеолитовому

УДК 628.194. Номер научной специальности: 05.23.04.

Сравнение эффективности загрузочных материалов, применяемых в фильтрах на заключительных стадиях очистки воды

Ю. А. Лисова, аспирант, инженер-проектировщик, ООО «Метрополис» (г. Москва); Е. А. Королёва, старший преподаватель, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

В условиях осложнившейся экологической обстановки встаёт вопрос о защищённости самого важного из всех ресурсов жизнеобеспечения — воды. Поэтому в настоящее время в значительной степени изменились нормативные требования к качеству её очистки. Одним из методов интенсификации работы фильтров на очистных сооружениях является применение новых фильтрующих материалов с хорошо развитой удельной поверхностью зёрен и большой пористостью загрузки. Главная цель работы: сравнение двух видов загрузочных материалов и определение наиболее эффективного при глубокой очистке хозяйственно-бытовых сточных вод.

Ключевые слова: экология, эффективность работы фильтров, интенсификация, новые фильтрующие материалы, доочистка, сточные воды, фильтрация, БПК, сооружение, технологии.

UDC 628.194. The number of scientific specialty: 05.23.04.

Comparison of the efficiency of loading materials used in filters at the final stages of water purification

Yu. A. Lisova, postgraduated student, "Metropolis", LLC (Moscow city); E. A. Koroleva, senior lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

In the conditions of the complicated ecological situation, the question arises about the security of the most important of all life support resources — water. Therefore, at present, the regulatory requirements for the quality of its cleaning have changed significantly. One of the methods for intensifying the operation of filters at treatment facilities is the use of new filter materials with a well-developed specific surface area of grains and a high porosity of the load. The main purpose of the work: comparison of two types of feed materials and determination of the most effective in deep cleaning of domestic wastewater.

Key words: ecology, filter efficiency, intensification, new filter materials, post-treatment, waste water, filtration, biochemical oxygen consumption, construction, technologies.



фильтру присуще более равномерное распределение задерживаемого осадка по толщине загрузки, чем кварцевому песку, следствием чего является меньшая потеря напора и более продолжительное защитное действие. Высокий коэффициент формы зёрен, значительная межзерновая пористость обеспечивают высокую грязеемкость цеолитовых фильтров, превышающую этот показатель для песчаных фильтров в два-шесть раз. Двухлетний опыт эксплуатации загрузочного материала продемонстрировал его положительные эксплуатационные качества.

Сорбционный и ионообменный потенциал позволяет использовать цеолит в процессах очистки сточных вод в качестве фильтрующей (фракции с зернением 1–3, 1–4 и 3–5 мм) загрузки и как активную добавку (пылевидная фракция цеолита — искусственный замутнитель).

Сорбционные свойства цеолита позволяют эффективно удалять из воды

вещества в дисперсной и коллоидной форме: взвешенные вещества, мелкодисперсная взвесь и нефтепродукты.

Ионообменный потенциал позволяет удалять из воды ионные формы загрязнителей, к которым цеолит имеет селективное действие: тяжёлые металлы (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Hg^{2+} , Cr^{6+}), радионуклиды (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{222}Rn , ^{103}Ru ...) и аммонийный азот (NH_4^+).

При использовании цеолитов для очистки сточных вод можно достичь эффекта удаления органических примесей и неорганических веществ на следующие показатели:

- снижение содержания алюминия до 44 %;
- снижение содержания соединений хлора от 46 до 64 %;
- снижение содержания фенола до 83 %;
- снижение содержания свинца до 94 %;
- снижение содержания железа до 86 %;
- снижение содержания меди на 80 %.



Результаты опытов по практическому применению данного минерала показали его высокую эффективность в качестве фильтрующего материала. При использовании цеолита вместо песка удаётся повысить объём фильтруемой воды в полтора-два раза и грязеемкость фильтра — на 20–50 %.

Для очистки воды лучше всего использовать статичный фильтр с направлением движения фильтруемой жидкости сверху вниз. Скорость фильтрования должна быть не менее 15–20 м³/ч. В этом случае поглощается порядка 90 % медных примесей и 50 % цинка. Ещё более высоких показателей можно достичь при использовании двухступенчатого режима. Таким образом можно достичь извлечения 90 % цинка.

Сокращение эксплуатационных расходов благодаря использованию цеолита возможно благодаря нескольким основным моментам: возможность объединить на одном этапе очистки фильтрацию очищаемой воды и абсорбцию

С учётом того, что цеолит имеет высокую устойчивость к слабощелочным и слабокислым средам, а также благодаря его высокой механической прочности, данный материал можно считать наилучшим для очистки бытовых и промышленных стоков, как с экономической точки зрения, так и с учётом качественных показателей.

Сокращение эксплуатационных расходов благодаря использованию цеолита возможно благодаря нескольким основным моментам: возможность объединить на одном этапе очистки фильтрацию очищаемой воды и абсорбцию. Кроме того, использование цеолита позволяет уменьшить число оборудования, необходимого при очистке сточной воды.

Результаты практического применения природных цеолитов позволяют с уверенностью утверждать, что с их помощью можно решить значительное количество назревших проблем в сфере охраны окружающей среды, снизить стоимость и повысить эффективность очистки промышленных и бытовых сточных вод.

В СНГ наибольшее распространение и практическое применение в экологических программах и очистке питьевой и сточной воды получили природные цеолиты Сокириницкого месторождения — так называемые «сокирниты».

В 1980–1990-е годы ведущие институты Украины в рамках комплексной научно-исследовательской программы «Цеолиты СССР» провели исследования цеолитовой породы Сокирницкого месторождения. Широкое практическое применение и дальнейшее изучение свойств сокирнита проводилось в рамках программы по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Цеолиты Сокирницкого месторождения являются цеолитами вулканического происхождения клиноптилолитового типа. Для фильтрующей загрузки используется сокирнит с содержанием клиноптилолита не менее 65 %, что определяет его высокую сорбционную ёмкость. Химический состав сокирнита был исследован в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева (Новосибирск) СО РАН в 2011 году методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Данные исследований приведены ниже в табл. 1.

В нашей стране свойства минерала были подробно изучены в рамках реализации государственной научно-исследовательской и практической программы «Цеолиты России», реализованной в 1990-е годы. В рамках этой программы были доказаны огромные экономические и экологические эффекты. Известно около 40 видов цеолитов. Наиболее распространёнными являются клиноптилолит, морденит и гейландит (табл. 2).

Доочистка сточных вод керамзитом

Одним из самых важных свойств керамзита является его развитая активная поверхность, обуславливающая способность к извлечению загрязнений, фильтрации и обеззараживанию сточных вод. Керамзит состоит из сырья натурального происхождения — глины, которая при термообработке превращается в мелкие черепки, вспученные снаружи и пористые внутри. Именно пористая структура, присущая всем абсорбентам, позволяет гранулам керамзита пропускать через себя значительное количество воды и задерживать все посторонние примеси. Применение керамзита в качестве среды для доочистки сточных вод, обусловлено отсутствием высокоэффективных местных доступных загрузок и низкими показателями работы фильтров очистных сооружений. Исследуемый фильтрующий материал предназначен для глубокой очистки сточных вод, прошедших полную биологическую очистку.

Для изучения свойств и характеристик керамзита были проведены полупроизводственные испытания на фильтре «Оксипор», разработанном в НИИ

Химический состав сокирнита (методом рентгенофлуоресцентного анализа)

табл. 1

Исследуемая проба № 4075 (ceolit)	Состав, %	Исследуемая проба № 4075 (ceolit)	Состав, %
Na ₂ O	0,79	TiO ₂	0,19
MgO	0,60	MnO	0,01
Al ₂ O ₃	12,48	Fe ₂ O ₃	1,46
SiO ₂	67,90	BaO	0,088
P ₂ O ₅	0,03	LoI	9,85
K ₂ O	3,22	Sum	99,66
CaO	3,05		

Основные показатели наиболее распространённого цеолита — клиноптилолита

табл. 2

Показатели	Клиноптилолит	Показатели	Клиноптилолит
Плотность, г/см ³	2,2–2,3	Истираемость, не более, %	0,2–0,5
Объёмная масса, кг/м ³	1040–1080	Измельчаемость, не более, %	0,6–1,9
Твёрдость, балл	3,5–4,0		

коммунального водоснабжения и очистки воды Академии коммунального хозяйства (АКХ) им. К.Д. Памфилова — аэрируемом крупнозернистом фильтре, схема которого представлена на рис. 1. Такие фильтры выполняют роль биологического сооружения, так как в них протека-

ют процессы биологического окисления органических загрязнений в аэрируемом слое загрузки и обычных скорых фильтров, в которых происходит задержание взвешенных веществ и избытка биоплёнки. На глубине фильтра 0,5–0,7 м расположена воздушная распределительная система, через которую осуществляется постоянная подача воздуха. Восстановление фильтрующей загрузки осуществляется водо-воздушной промывкой. Очистка воды на фильтре происходит путём механического задержания взвешенных веществ и высокоэффективного биологического окисления загрязнений микроорганизмами в аэрируемой части фильтра.

Благоприятный кислородный режим приводит к развитию аэробных микроорганизмов, обладающих высокой окислительной способностью, низким приро-

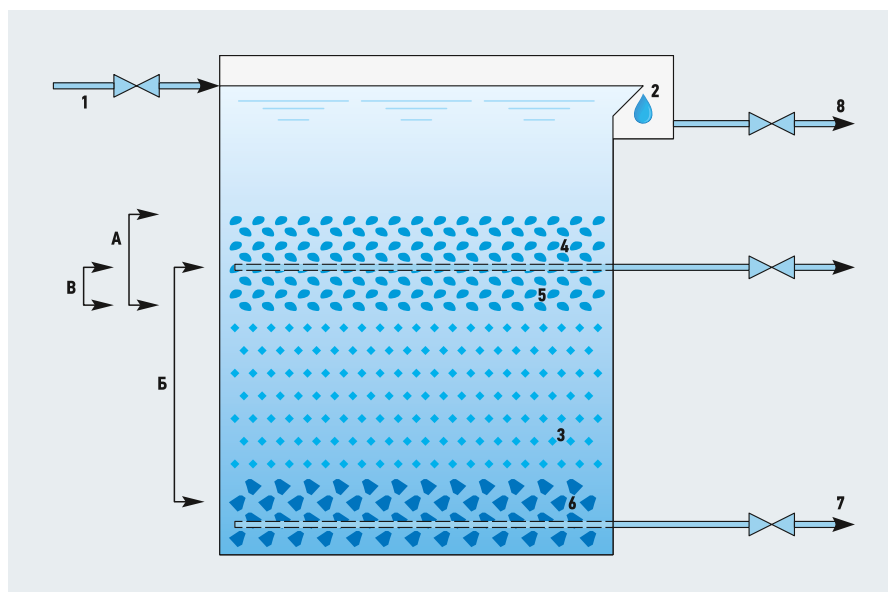


Рис. 1. Фильтр конструкции «Оксипор», разработанный во ВНИИ коммунального водоснабжения и очистки воды АКХ им. К.Д. Памфилова (обозначения: А — область развития биоплёнки, Б — область скорого фильтра, В — область задержания избыточного активного ила; 1 — подача биологически очищенной сточной жидкости; 2 — сбор доочищенной сточной воды; 3 — слой собственно загрузки; 4 — пригрузочный слой; 5 — воздушнораспределительная система; 6 — поддерживающий слой; 7 — дренажно-распределительная система)

стом биомассы и высокой флокулирующей способностью, следствием чего является хорошее задержание взвеси слоем фильтрующей загрузки.

В процессе испытаний установки доочистки сточных вод конструкции «Оксипор», имеющей загрузку из кварцевого песка (первая колонка) и керамзита (вторая колонка), полученные данные сведены в табл. 3.

Сравнение эффективности работы загрузок (табл. 3) установило улучшение условий фильтрования, в частности, при средней скорости фильтрации свыше 4,5 м/ч продолжительность фильтроцикла повышена по сравнению с кварцевым песком более чем в 1,8 раза. Эффективность обеззараживания сточных вод по содержанию бактерий группы E.Coli составляет свыше 90,9 %.

Основным требованием является то, чтобы фильтруемая вода не обогащалась веществами вредными для людей в хозяйственно-питьевых водопроводах или для технологии того производства, где она используется. С этой целью проведён спектральный анализ, результаты которого приведены в табл. 4.

Керамзит в качестве среды для доочистки сточной жидкости предназначен для глубокой обработки сточных вод, которые уже прошли цикл биологической очистки

Выводы

Исходя из всего сказанного выше, приходим к выводу, что и цеолит, и керамзит являются качественными фильтрующими материалами, каждый из которых обладает рядом преимуществ.

Гигиеническая оценка показала, что с применением цеолитовой загрузки в воде снизилось содержание азота, понизилась жёсткость, щёлочность и перманганатная окисляемость, уменьшился запах, цветность, количество микроорганизмов. Отмечено стабильное снижение в осветлённой воде коли-индекса, общего числа бактерий, фито- и зоопланктона. С помощью цеолитов возможна очистка воды от бензапирена. Концентрация в растворе этого вещества уменьшалась в 260 раз. Доказана эффективность цеолита в очистке воды от фтора.

Применение керамзитовой загрузки при повышенной загрязнённости сточных вод в диапазоне скоростей фильтрования от 15 до 45 м/ч обеспечивает продолжительность фильтроцикла 32–24 ч, а эффективность очистки содержащихся в сточной воде взвешенных веществ и маслопродуктов, соответственно, 65,8–58,5 и 78,5–70,3 %.

Керамзит в качестве среды для доочистки сточной жидкости предназначен для глубокой обработки стоков, прошедших цикл биологической очистки. Вследствие образования биоплёнки на поверхности зёрен загрузки, в процессе фильтрования наблюдается постепенное улучшение качества доочищенной воды.

Биоценоз биоплёнки оптимально работающего фильтра представлен разнообразными видами достаточно подвижных аэробов, преобладание же анаэробных бактерий, приводящее к быстрой колюматации загрузки, является причиной ухудшения качества очистки. Однако благодаря принятым мерам принудительной интенсивной аэрации пористого слоя загрузки и его развитой активной поверхности, устранён этот недостаток: продолжительность фильтроцикла увеличилась более чем в 1,8 раза с улучшением показателей доочищенной воды, что позволяет считать полученный керамзит эффективной фильтрующей загрузкой нового поколения. ●

● Данные испытаний установки доочистки сточных вод конструкции «Оксипор» табл. 3

Загрузка	Продолжительность фильтроцикла, ч	Эффективность снижения концентраций загрязнений		Средние концентрации загрязнений в доочищенной сточной воде	
		по БПК ₅ , %	по взвешенным, %	по БПК ₅ , мг/л	по взвешенным, мг/л
Керамзит	28,1	70	80	3,65	3,7
Кварцевый песок	15,4	68	74	3,5	3,4

● Результаты спектрального анализа керамзита табл. 4

Химические элементы	Содержание, мг/кг	Содержание, %	ПДК солей тяжёлых металлов, мг/кг
Магний	0,03	3,0	2,0
Кальций	Не обнаружен	То же	Не нормирован
Титан	То же	То же	То же
Никель	0,005	0,5	0,5
Кобальт	0,002	0,2	1–0,01
Ванадий	0,02	2,0	0,1
Хром	0,03	3,0	0,1–0,05
Молибден	0,0001	0,01	0,1–0,25
Вольфрам	Не обнаружен	То же	Не нормирован
Гафний	То же	То же	То же
Тантал	Не обнаружен	0,1	Не нормирован
Кадмий	Не обнаружен	То же	То же
Серебро	Не обнаружен	То же	То же
Цинк	0,01	1,0	0,05–0,01
Олово	0,01	1,0	0,017
Галлий	0,002	0,2	Не нормирован
Корий	0,0025	5,0	0,005
Бериллий	0,0002	0,02	0,00002–0,0002
Медь	0,002	0,2	0,1–0,02
Фосфор	Не обнаружен	То же	Не нормирован
Свинец	0,001	0,1	0,03

* Результаты получены из глины с введением 25 % ОГСВ с коагулянтном.

- СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализ. ред. СНиП 2.04.02–84* (с Изм. №1–5).
- СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения.
- Горбачёв Е.А. Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников: Учебн. пособ. — М.: Изд-во АСВ, 2004. 240 с.
- Картушина Ю.Н., Полозова И.А., Ананьев Д.С. Определение оптимального соотношения исходных компонентов в сырьевой смеси для производства керамзита с использованием осадка после биологической очистки сточных вод // Инженерный вестник Дона, 2014. №4.
- Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчёты. Изд. 3-е. — М.: Стройиздат, 1982. 303 с.
- Кулаков А.А. Экологическая оценка комплекса «водный объект — выпуск очищенных сточных вод» // Водоснабжение и санитарная техника, 2013. №5. С. 25–30.
- Кульский Л.А., Душкин С.С. Магнитное поле и процессы водообработки. — Киев: Наукова думка, 1987. 110 с.
- Кульский Л.А., Срокач П.П. Технология очистки природных вод. Изд. 2-е, перераб. и доп. — Киев: Вища школа, 1986. 352 с.
- Орлов В.А., Квитка Л.А. Водоснабжение: Учебник. — М.: Инфра-М, 2015. 443 с.
- ОАО «Мосводоканал» — крупнейшая водная компания в России [Электр. текст]. Режим доступа: mosvodokanal.ru. Дата обрац.: 20.11.2020.
- Степанов В.И. Структуры и текстуры минеральных агрегатов, образующихся в свободном пространстве пустот // Спелеология в России, 1998. №1. С. 70–91.

References — see page 78.

Comparison of the efficiency of loading materials used in filters at the final stages of water purification. Pp. 32–35.

Yulia A. Lisova, postgraduated student, "Metropolis", LLC (Moscow city); **Elena A. Koroleva**, senior lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. SP 31.13330.2012 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice) No. 31.13330.2012]. *Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzhenija. Aktualiz. red. SNiP 2.04.02–84* (s Izm. №1–5)* [Water supply. External networks and facilities. Updated edition of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 2.04.02–84* (with Amendment No. 1–5)]. [In Russian]
2. SanPiN 2.1.4.1074–01 [Sanitary Norms and Regulations of Russia (Russian Public Health Regulations) No. 2.1.4.1074–01]. *Pit'evaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannyh sistem pit'evogo vodosnabzhenija. Kontrol' kachestva. Gigienicheskie trebovanija k obezpečeniju bezopasnosti sistem gorjachego vodosnabzhenija* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water supply systems]. [In Russian]
3. E.A. Gorbachev. *Proektirovanie ochistnyh sooruzhenij vodoprovoda iz poverhnostnyh istochnikov: Uchebn. posob.* [Design of treatment facilities for water supply from surface sources: A textbook]. Moscow. Izd-vo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities ("ASV" Publishers)]. 2004. 240 p. [In Russian]
4. Ju.N. Kartushina, I.A. Polozova, D.S. Anan'ev. *Opredelenie optimal'nogo sootnoshenija ishodnyh komponentov v syr'evoj smesi dlja proizvodstva keramzita s ispol'zovaniem osadka posle biologicheskoy ochistki stochnyh vod* [Determination of the optimal ratio of the initial components in the raw mixture for the production of expanded clay using sludge after biological wastewater treatment]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Don's Engineering Bulletin]. 2014. No. 4. [In Russian]
5. V.F. Kozhinov. *Ochistka pit'evoj i tehnicheckoj vody. Primery i raschety* [Purification of drinking and industrial water. Examples and calculations]. 3rd edition. Moscow. Strojizdat [Publishing House of literature on the construction and architecture ("Stroiizdat" Publishers)]. 1982. 303 p. [In Russian]
6. A.A. Kulakov. *Jekologicheskaja ocenka kompleksa "vodnyj ob'ekt — vypusk ochishhennyh stochnyh vod"* [Environmental assessment of the complex "water body — discharge of treated waste water"]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [Water supply and sanitary equipment]. 2013. No. 5. Pp. 25–30. [In Russian]
7. L.A. Kul'skij, S.S. Dushkin. *Magnitnoe pole i processy vodoobrabotki* [Magnetic field and water treatment processes]. Kiev, Ukraine. Naukova dumka ["Scientific thought" Publishers]. 1987. 110 p. [In Russian]
8. L.A. Kul'skij, P.P. Srokach. *Tehnologija ochistki prirodnyh vod* [Technology of natural water purification]. 2nd edition, exp. and rev. Kiev, Ukraine. Vishha shkola ["Higher education" Publishing House]. 1986. 352 p. [In Russian]
9. V.A. Orlov, L.A. Kvitka. *Vodosnabzhenie: Uchebn.* [Water supply: A textbook]. Moscow. Infra-M ["Infra-M" Scientific Publishing Center]. 2015. 443 p.
10. OAO "Mosvodokanal" — *krupnejshaja vodnaja kompanija v Rossii* ["Mosvodokanal", OJSC, is the largest water company in Russia]. Web-source: mosvodokanal.ru. Access data: November 20, 2020. [In Russian]
11. V.I. Stepanov. *Struktury i tekstury mineral'nyh agregatov, obrazujushhihsja v svobodnom prostranstve pustot* [Structures and textures of mineral aggregates formed in the free space of voids]. *Speleologija v Rossii* ["Speleology in Russia" Magazine]. 1998. No. 1. Pp. 70–91. [In Russian]