

Серпокрялов Николай Сергеевич

Ростовский государственный строительный университет
Преподаватель
Доктор технических наук, профессор
Serpokrilov Nikolai S.
Rostov State University of Civil Engineering
Lecturer
E-Mail: serpokrilov@nm.ru

Смоляниченко Алла Сергеевна

Ростовский государственный строительный университет
Преподаватель
Кандидат технических наук, ассистент
Smolyanichenko Alla S.
Rostov State University of Civil Engineering
Lecturer
E-Mail: arpis-2006@mail.ru

Петросян Гарегин Гагикович

Ростовский государственный строительный университет
Аспирант
Petrosyan Garegin G.
Rostov State University of Civil Engineering
Graduate student
E-Mail: garegintun@mail.ru

05.23.04 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов

**Анализ эффективности керамических аэраторов при очистке сточных вод
на базе туфов Армении**

The analysis of the effectiveness of ceramic aerators in the wastewater treatment on
the basis of the Armenian tuff

Аннотация: Исследована эффективность керамических аэраторов на базе армянского туфа как с точки зрения массообменных характеристик, так и на основе лабораторных анализов, отобранных проб сточных вод в ходе аэрации. Установлено значительное снижение по основным показателям загрязнений, что свидетельствует о технологических и экономических перспективах данного типа аэраторов.

Abstract: We investigated the effectiveness of ceramic aerators on the basis of the Armenian tuff from the point of view of the mass-transfer characteristics as well as on the basis of laboratory analysis of the waste water samples in the aeration. We ascertained the significant reduction of pollution in major indicators. It testifies to the technological and economic prospects and advantages of this type of aerators.

Ключевые слова: Армянский туф; свойства туфов; керамические аэраторы; мембранные аэраторы; коэффициент массопередачи; окислительная способность; КПД; эффективность аэрации; показатели по основным загрязнениям.

Keywords: The Armenian tuff; properties of tuff; ceramic aerators; membrane aerators;

mass-transfer coefficient; oxidative capacity; efficiency; effectiveness of aeration; the figures for the main pollutants.

Восемьдесят пять процентов запасов туфа на территории бывшего СССР сосредоточено в Армении [8]. В России известно Лечинкайское месторождение туфа, расположенное в Кабардино-Балкарской республике. Туфы известны тысячелетия как превосходный многопрофильный строительный материал. Но только в последние 10 — 15 лет их начали использовать и в области очистки вод благодаря водостойкости и пористости. Достаточно широкое распространение за эти годы получили бытовые фильтры на базе фильтровальных элементов, изготовленных из туфа [9]. Возможность полного удаления коллоидов, содержащих тяжелые металлы, повышение вкусовых качеств, минимальные затраты на установку и эксплуатацию обуславливают преимущества использования бытовых фильтров из туфа для доочистки водопроводной воды. Имеется возможность многократной регенерации элементов. Известен также положительный опыт применения данных фильтров в пищевой промышленности, в производстве алкогольных и безалкогольных напитков и т. д. [10]. В то же время имеется перспектива расширения ареала использования физических и химических свойств туфа в водоочистных технологиях: в оборотных циклах промышленных предприятий, в практике разделения иловой смеси в аэротенках взамен вторичных отстойников и/или мембранных фильтров, в системах аэрации и т. п. В тех случаях, когда не требуется глубокое выделение загрязнений, например, взвешенных веществ, возможно применение фильтровальных элементов с большими размерами пор для снижения необходимого рабочего давления (табл. 1, 2). Однако данный вид материала можно использовать в очистке вод не только как фильтрационный, но и как аэрационный элемент.

Туф – это пористая порода вулканического происхождения, которая образуется вследствие цементирования рыхлых продуктов вулканических извержений [5].

Более половины химического состава данной горной породы образуется за счёт оксидов кремния (49-75 %) и алюминия (8-23 %). Помимо этого, в состав камня входят оксиды железа, магния, калия, натрия и других химических элементов в незначительных количествах, % : CaO - (1-7), Fe₂O₃ - (1,95-10,74), TiO₂ - (0,05-1,2), MgO - (0,02-3,5), SO₃ - (0,02-1,75), K₂O+Na₂O - (1-10), прочие - (0-18%).

Таблица 1

Характеристики фильтровальных элементов

№	Характеристики	Ед. изм.	Модель фильтровальных элемента		
			Т- 0,7	Т- 2,0	ТМ-2,0
1	Материал		туф	туф	туф + мрамор
2	Пористость	мк	0.7	2.0	2.0
3	Ресурс	л	15000/---*	45000 / 16000*	45000 / 16000*
4	Расход	л/ч	350/---*	950 / 600*	950 / 600*
5	Регенерация		до 3-х раз	до 3-х раз	до 3-х раз
8	Давление	бар	8.0	8.0	8.0
9	Размер, диам/высота	мм	70 / 248	70 / 248	70 / 248
10	Масса	гр	950	950	950

* - для исследуемых вод, обработанных сульфатом алюминия на территории Российской Федерации

Таблица 2

Показатели очистки вод с добавлением минеральных солей, мг/л

№	Показатель	Модель фильтровального элемента					
		Т- 0,7		Т- 2,0		ТМ- 2,0	
		до	после	до	после	до	после
1	Мутность	1.2	<0.5	1.2	<1.0	1.2	<1.0
2	Железо	6.25	0.4	6.25	1.6	3.0	1.4
3	Медь	4.5	0.2	4.5	1.3	4.5	2.1
4	Цинк	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0	1.1
5	Свинец	0.042	0.01	0.042	0.02	0.042	0.02
6	Кадмий	0.015	0.006	0.015	0.009	0.015	0.01

Вулканический туф возник путем смешения жидкой лавы с частицами песка и вулканического пепла. Эта порода является пористой (пористость находится в пределах 21,3-46,6 %), образованной путем скрепления тем или иным путём обломочного материала. Физико-механические характеристики варьируются в зависимости от вида камня. Например, степень спекания, в зависимости от которой выделяют спёкшиеся и сцементированные разновидности, определяет параметр прочности. Плотность породы составляет 2400-2610 кг/м³; объёмный вес варьируется от 1370 до 2050 кг/м³. Степень водопоглощения по весу может достигать 23,3 %. Морозостойкость данного материала невелика – около 25 циклов заморзания-оттаивания. Коэффициент водонасыщения варьируется в пределах 0,57-0,86, коэффициент размягчения – 0,72-0,89. Предел прочности вулканической породы при сжатии составляет 13,3-56,4 МПа [5].

Существует также такая горная порода как туфолавы, которая занимает промежуточное положение между лавой и туфом. По мнению геологов, образование туфолавов произошло при быстром вспенивании лав, которое сопровождалось падением давления и связанным с ним дроблением вкрапленников и стекла без разрыва сплошности лавового потока [5]. Примером самого типичного туфолава является арктический туф, который встречается в Армении у станции Артик (близ Лениакана). Этот туфолав представляет собой стекловатную пористую породу, плотность которой составляет 750-1400, пористость - 40-70%, а предел прочности при сжатии его равен 8-19 МПа (табл.6). Кроме арктического в Армении имеется еще 4 вида туфов: аниский, ереванский, фелзитский и бюраканской (табл.3).

Таблица 3

Физические свойства армянского туфа

Месторождение	Арктический	Аниский	Ереванский
Одномерный массив, кг/см ³	1362,0	1348,0	1587,0
Истинная плотность, г/см ³	2,44	2,23	2,4
Пористость, %	42,7	39,5	31,0
Водостойкость	15,6	10,7	7,8
Сжатие (сила), кг/см ²	122,0	184,0	187,0

Традиционно на станциях аэрации в России десятилетиями применялись среднепузырчатые (фильтросные) аэраторы в виде труб и пластин из пористой проницаемой керамики, которые вошли в типовые проекты и до сих пор иногда используются при строительстве и реконструкции аэротенков [2].

Впервые аэраторы такого типа начали производиться в промышленном масштабе фирмой «Filtros», США в 1925 г. С тех пор за аэраторами из пористой проницаемой керамики закрепился термин фильтросные пластины, трубы (фильтросы). Эффективность аэрации фильтросов составляет 1,5 – 2,2 кг O₂/кВт·ч, они достаточно просты и надежны в эксплуатации. Основными их недостатками являются достаточно высокое энергопотребление и попадание внутрь иловой смеси при отключении электроэнергии, что при ее включении приводит к гидроударам, разрушению отдельных труб (каналов) и необходимости последующего опорожнения аэротенка для восстановления аэрационной системы [1].

Указанные недостатки привели к разработке нового поколения менее энергоемких аэраторов. В России в основном – это выпускаемые отечественной промышленностью аэраторы («Экополимер», «Экотон» и их аналоги) с эффективностью аэрации 2,5 – 3,5 кгO₂/кВт·ч. Также в России имеется достаточно длительный (5 – 7 лет) опыт использования зарубежных мембранных аэраторов, характеризующихся эффективностью 4,0 – 7,5 кгO₂/кВт·ч [2].

В то же время (материалы доклада гл. инж. «Мосочиствод» на 3-их Яковлевских чтениях, 2008 г., г. Новочеркасск Ростовской обл.) двухлетний промышленный опыт применения мембранных аэраторов «Фортрикс» на одной из технологических линий Люберецкой станции аэрации с расходом 500 000 м³/сут показал, что мембраны снизили проницаемость на 35 – 45%, и при этом потери напора возросли с паспортных 0,3 – 0,4 м до 1,2 – 1,3 м. Восстановление проницаемости аэраторов проводится щавелевой кислотой 2 раза в год с опорожением аэротенка, а это на 50 – 60% увеличивает эксплуатационные расходы. Эффективность аэрации снизилась с 3,5 – 4,0 кгO₂/кВтч до 1,8 – 2,2 (При этом производитель аэраторов «Фортрикс» давал гарантию сохранения технических параметров 5 лет). Имеются аналогичные сравнительные данные двухлетнего мониторинга 2-х аэротенков (длина 120 м) очистных сооружений сточных вод в Берлине (ФРГ), где также отмечается снижение массообменных характеристик мембранных и повышение их у керамических аэраторов [3].

В связи с этим возникает необходимость внедрения в водоочистную практику керамических аэраторов, которые не только показывают удовлетворительные технологические результаты, но также являются перспективными с экономической и экологической точки зрения.

Нами были проведены исследования на керамических аэраторах из армянского туфа арктического месторождения 3-х моделей: «высокий», оснащенный 3 штуцерами - 18x15x35(h), «низкий», оснащенный 1 штуцером - 18x15x30(h), «дисковый» d=160 мм - h=50 мм. Рабочая высота слоя аэратора, соответственно, мм: 40, 20, 30 (табл.4).

В качестве критериев эффективности аэрации рассмотрены: объемный коэффициент массопередачи кислорода k_{VT}, ч⁻¹, КПД, %, окислительная способность (ОС), кг/ч·м³ эффективность аэрации (ЭА) по производству растворенного в жидкости кислорода, кгO₂/кВт·час. Исследования проведены по методике переменного дефицита кислорода на обескислороженной водопроводной воде с сульфитом натрия и катализатором (хлористым кобальтом) [4] на модели аэротенка с прозрачными стенками с высотой слоя воды 0,45 м.

Таблица 4

Массообменные характеристики керамических аэраторов из армянского туфа арктического месторождения

Аэратор	Расход, л/мин	Параметрические показатели аэраторов при расходах воздуха, м ³ /час и высоте слоя воды 0,45 м			
		к _{вт} , ч ¹	КПД, %	окислительная способность, кг/ч·м ³	эффективность аэрации, кгО ₂ /(кВт·ч)
"Низкий"	30	2,6	2,6	1,08	2,03
"Высокий"	15	2,06	16,0	0,28	0,52
"Дисковый"	15	1,78	12,1	0,17	0,32

Из полученных данных (табл. 4) следует, что керамические аэраторы из армянского туфа арктического месторождения характеризуются сравнительно невысокими массообменными показателями, однако если аэраторы из туфа рассматривать с экономической точки зрения, то они имеют значительное преимущество: стоимость 1м² армянского туфа составляет приблизительно 300 руб., а, например, мембранные аэраторы RENAU имеют стоимость около 3000 руб. за погонный метр. В опытно - промышленных условиях на сточных водах Ереванской станции аэрации (Республика Армения) были проведены пилотные испытания, выборочные результаты свидетельствуют о довольно высокой эффективности работы аэрационных элементов (табл.5, рис.1). В песколовку был погружен керамический аэратор из армянского туфа арктического месторождения. При этом производился отбор проб сточной воды до аэрации и далее с аэрацией в течение 5 дней в установленное время.

Таблица 5

Концентрации по основным показателям загрязнений сточных вод до и после аэрации

N	Показатель	До аэрации	После аэрации					
			Δср	13.09.2012г.	14.09.2012г.	15.09.2012г.	16.09.2012г.	17.09.2012г.
1	ХПК (мг/дм ³)	702,0	160,0	240,0	200,0	160,0	120,0	80,0
2	БПК ₅ (мг/дм ³)	284,0	58,88	96,0	56,0	54,4	48,0	40,0
3	Прозрачность (см)	0,4	4,66	1,6	4,8	5,0	5,8	6,1
4	Взвешенное вещество	317,0	59,4	92,0	73,0	54,0	41,0	37,0
5	Сухой остаток (мг/дм ³)	680,0	464,6	514,0	486,0	463,0	438,0	422,0
6	Прокаленной остаток (мг/дм ³)	423,0	332,0	354,0	340,0	332,0	324,0	310,0

7	$N.NH_4^+$ (мг/дм ³)	8,0	5,38	8,0	8,0	4,0	3,65	3,24
8	NO_2^- (мг/дм ³)	0,2	0,10 6	0,15	0,08	0,09	0,10	0,11
9	NO_3^- (мг/дм ³)	4,1	1,94	2,0	2,4	1,9	1,9	1,5
10	H_2S (мг/дм ³)	1,5	0,12	0,14	0,13	0,11	0,10	0,10
11	O_2 (мг/дм ³)	2,7	5,12	4,1	5,0	5,1	5,5	5,9

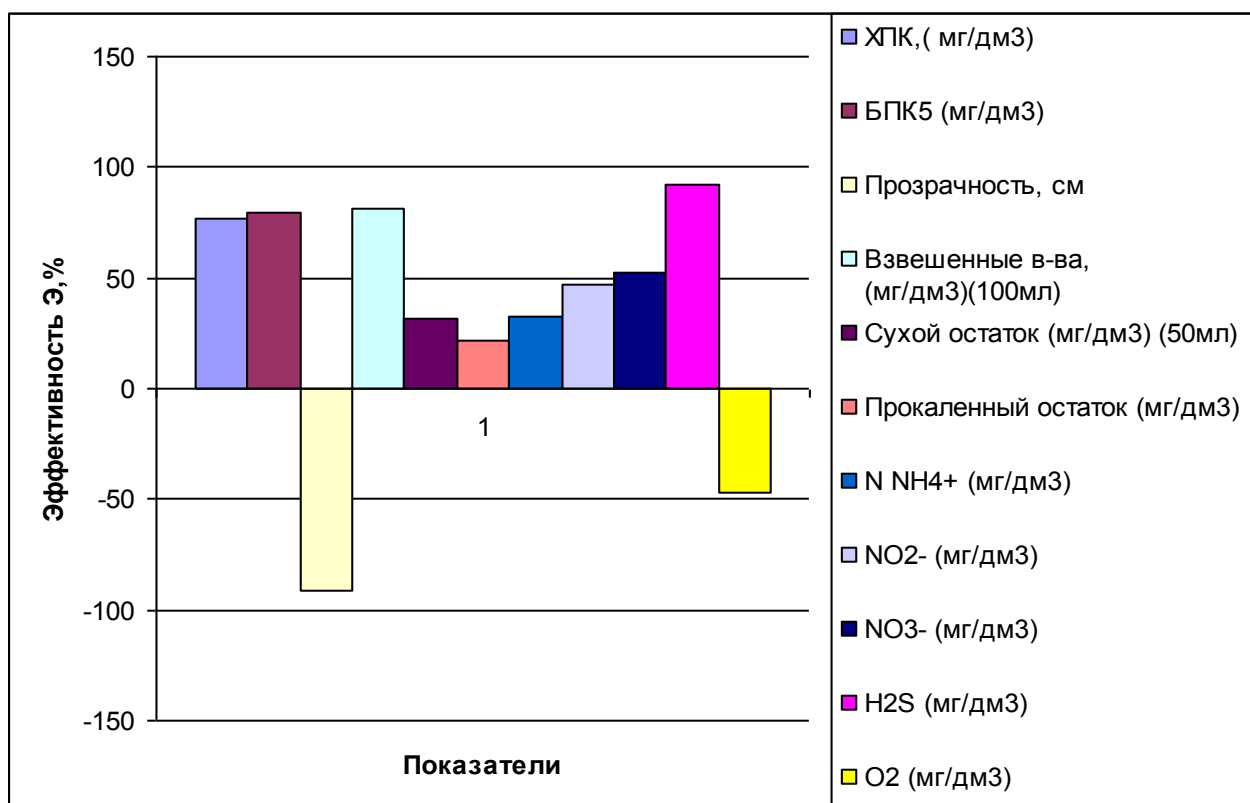


Рис. 1. Опытные данные по основным показателям после аэрации сточных вод

Полученные результаты свидетельствуют о существенном снижении концентраций по основным показателям загрязнений сточных вод. В частности показатели по ХПК сократились в среднем в 4 раза, по БПК и взвешенным веществам – почти в 5 раз, по нитритам и нитратам - в 2 раза. Полученные результаты говорят о целесообразности дальнейших исследований работы керамических аэраторов на базе армянского туфа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попкович Г.С., Репин Б.Н. Системы аэрации сточных вод. – М.: Стройиздат, 1986. – 133 с.
2. Серпокрьлов Н.С., Смоляниченко А.С., Саенко М.Н., Серпокрьлов Е.Н., Фесенко Е.Н. Аэраторы в очистке сточных вод/ Учебное пособие/ -Ростов-на-Дону - Рост. гос. строит. ун-т, 2012 - 180 с.
3. Schuchardt et. al. Dynamische Sauerstoffeintragungsmessungen zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von Keramik- und Membranbelüfterelementen unter Betriebsbedingungen / Korrespondenz Abwasser, 2004, 51 (4), s. 390-395.
4. Яковлев С.В., Воронов Ю.И. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
5. Шуман В. Мир камня. Горные породы и минералы. – М.: Мир, 1986. С.112-114.
6. Schuchardt et. al. Dynamische Sauerstoffeintragungsmessungen zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von Keramik- und Membranbelüfterelementen unter Betriebsbedingungen / Korrespondenz Abwasser, 2004, 51 (4), s. 390-395.
7. Pasveer A. Oxygenation of water with air bubbles Sew Ind. Wastes – 1955 – V27, №9 – P.1130.
8. Козловский Е. А. Горная энциклопедия — М.: Сов. энцикл., 1984—1991. В 5 т.
9. Заключение 6/47 от 19.11.01 по результатам гигиенической оценки фильтров бытовых для питьевой воды для природных пород (ТУ РА 23477755.1918-99).
10. Петросян Г.Г. Фильтрующие элементы для очистки вод на базе туфов Армении. «Строительство – 2012»: Материалы междунар. научн. – практич. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2012.
11. Заявка на выдачу патента на изобретение N2012150898/05 от 27.11.2012г. “Способ аэрации воды”, авторы: Серпокрьлов Н.С., Петросян Г.Г.

Рецензент: Алексей Александрович Марочкин, к.т.н., директор ООО “Акватрат”.