

Исследование нетрадиционных способов очистки промышленных сточных вод

Д.А. Рудиков, В.А. Финоченко, Т.А. Финоченко, Т.Г. Шульга

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

Аннотация: Из существующих методов очистки производственных сточных вод (механический, химический, физико-химический и биологический), именно биологический способ представляет на сегодняшний день интерес, в связи с тем, что основан на способности микроорганизмов и высших водных растений использовать разнообразные загрязняющие вещества в качестве источника питания в процессе жизнедеятельности, что, в итоге, приводит к очищению загрязненной воды. В практике очистки сточных вод биологическим методом наиболее хорошо зарекомендовало себя плавающее растение – эйхорния (водный гиацинт), на поверхности корней которого формируются селективные микробиоценозы, способствующие активной биодеструкции и поглощению как органических, так и минеральных веществ. В работе показана возможность поглощения эйхорнией загрязняющих веществ в условиях крытого помещения и доказана возможность очистки загрязненной воды водным гиацинтом в условиях крытого помещения.

Ключевые слова: водный гиацинт, эйхорния, загрязняющие вещества, сточные воды, высшие водные растения.

В XXI веке чистая вода становится стратегическим продуктом, поскольку с одной стороны растет ее потребление, а с другой – происходит непрерывное загрязнение. Несмотря на то, что водные объекты относятся к возобновляемым источникам, поступление в них недостаточно очищенных стоков, а также ухудшение экологической обстановки в окружающей среде отрицательно сказываются на воде природных источников.

Наибольшую опасность для водных объектов представляют сточные воды, которые могут быть загрязнены кислотами, щелочами, солями, нефтепродуктами, органическими соединениями. Концентрация загрязняющих веществ, в отдельных случаях, может достигать нескольких г/л, что приводит к отрицательному влиянию на водно-химический и биологический режимы водотоков при аварийных сбросах, снижению содержания кислорода, изменению показателя рН водной среды, нарушению

самоочищения воды в водоеме, поэтому спуск в водоемы неочищенных сточных вод запрещен.

Существует четыре метода очистки производственных сточных вод [1].

1. Механическая очистка - процеживание, отстаивание, центрифугирование и фильтрование.

2. Химическая очистка - нейтрализация кислот и щелочей, а также электрохимическом окисление.

3. Физико-химическая очистка - диализ, коагуляция, кристаллизация, сорбция, экстракция, флотация, ионный обмен, дезактивация, дезодорация, обессоливание.

4. Биологическая очистка - способность микроорганизмов использовать разнообразные вещества, содержащиеся в воде, в процессе жизнедеятельности, как источник питания. Таким образом, микроорганизмы освобождают воду от загрязнений, а метаболизм этих загрязнений в клетках микроорганизмов обеспечивает их энергетические потребности, прирост биомассы и восстановление распавшихся веществ клетки.

Биохимическому окислению легко поддаются такие органические соединения как, ацетон, анилин, глицерин, бензойная кислота, этиловые и аниловые спирты, гликоли, хлоргидриды. А такие вещества как ксилол, толуол, соли тяжелых металлов, углеводороды нефти, хлорзамещенные углеводороды, синтетические поверхностно-активные вещества тяжело поддаются биохимическому окислению и неблагоприятно сказывается на биологической очистке.

Анализ перечисленных традиционных методов очистки сточных вод показывает, что их использование возможно в большинстве случаев при организации на предприятиях оборотных схем водопользования, требования к качеству воды в которых менее жесткие, чем при сбросе отработанных стоков в водоемы или городские сети водоотведения.

Универсальный метод доочистки сточных вод от органических загрязнений - биологический, при котором удовлетворительно окисляются биохимические вещества с отношением показателей биологического потребления кислорода (БПК₅) к его химическому потреблению (ХПК), большим 0,5.

В большинстве случаев используются биологические пруды, в которых доочистка сточных вод происходит за счет высших водных растений, которых насчитывается, на территории нашей страны, до 260 видов. Их жизнедеятельность успешно проходит при температуре +20 °С, а при пониженных температурах их рост растений замедляется. Укореняющиеся в грунт растения (камыш озерный, кувшинка, рогоз широколистный, телорез, элодея, тростник) извлекают из донных отложений значительную часть солей при своем минеральном питании.

Используемые высшие растения могут принадлежать к экологической группе гидратофитов (целиком погружённые) и гидрофитов (воздушно-водные). Плавающие и погруженные растения поглощают соли из воды всей поверхностью. Высшая водная растительность регулирует качество воды не только благодаря фильтрационным свойствам, но и способности таких растений к накоплению, утилизации, трансформации многих веществ, что делает их незаменимыми в процессе самоочищения водоемов. Значительная роль отводится планктону, водорослям и другим микроорганизмам

Сравнительно простой тип водоочистных сооружений с высшими растениями – биологические пруды. Результаты проводимых ранее исследований по очистке сточных вод с помощью высших водных растений в биопрудах показали, что их использование позволяет обеспечить качество воды, отвечающее требованиям, предъявляемым водам, выпускаемым в естественные водоемы. Близкими по принципам функционирования к прудам являются системы очистки воды с использованием естественных

заболоченных участков и водотоков, заросших вьющими растениями. Они легко могут быть приспособлены в качестве очистных сооружений без нарушения природного, ландшафта. В нашей стране сооружения такого типа получили название гидрботанических площадок. Есть опыт использования таких сооружений для очистки сточных вод угольных шахт [2].

Использование высших водных растений в биологических прудах позволило снизить химическое потребление кислорода (ХПК) сточной воды в 5 раз, биологическое потребление кислорода (БПК) и, концентрацию хлоридов и сульфатов – более чем в 2 раза, биогенных веществ в 5 – 20 раз, содержание взвешенных веществ уменьшилось в 7 раз и в 40 раз сухой остаток [3-5].

Роль высшей водной растительности в ускорении процесса самоочищения от нефти заключается, по-видимому, в создании дополнительного субстрата и благоприятной среды для микрофлоры вследствие выделения метаболитов, стимулирующих деятельность бактерий, которые участвуют в разложении нефтепродуктов [6].

Общим недостатком всех вышеперечисленных типов очистных сооружений с использованием высших растений является низкая производительность и, как следствие, большие занимаемые площади, быстрое заиливание при достаточно больших технических трудностях регенерации. Все эти недостатки полностью или частично устраняются в очистных сооружениях, представляющих собой длинные неширокие каналы с высшими растениями [7]. Скорость течения в каналах намного выше, чем в прудах и на ботанических площадках, что создаёт некоторую дополнительную турбулентную составляющую диффузии и усиливает аэрацию. При заиливании каналы легко могут быть очищены техническими средствами.

Исследованиями была установлена возможность использования в условиях Среднего Урала проточного биологического пруда с высшей водной растительностью (тростник, рогоз, полевой хвощ, осока, элодея, рдесты) в качестве сооружения для доочистки биохимически очищенных городских и частично производственных сточных вод (30 %), освобождающего воду от остаточных органических загрязнений и соединений азота [8].

В практике очистки сточных вод наиболее хорошо зарекомендовало себя плавающее растение *Eichornia crassipes* – водный гиацинт (эйхорния), которое широко используется в странах с теплым климатом. Для использования эйхорнии в холодное время года предлагается закрывать резервуары с цветами или перемещать растения в оранжереи, так как при понижении температуры до 5 – 6 °С растения в водоеме отмирают.

Сейчас с помощью водного гиацинта очищают озера, занесенные в список мертвых, малые реки и водоемы, всевозможные грязные стоки. С помощью эйхорнии можно извлечь из стока большинство биогенных элементов (азот, фосфор, калий, кальций, магний, марганец, серу) и такие ингредиенты, как фенолы, сульфаты, нефтепродукты, фосфаты; можно улучшить показатели БПК и ХПК [9]. При очистке стоков, в которых находится аммиак, фосфаты, щелочи, сульфиды, нефтепродукты, фенолы, растение окисляет и расщепляет их на простые элементы и усваивает как питание.

Как все плавающие на поверхности водные растения, эйхорния с помощью листьев использует для фотосинтеза углекислый газ воздуха, а с помощью корневой системы усваивает из воды неорганический углерод карбонатов, минеральные соли, низкомолекулярные углеводы, аминокислоты и другие вещества. Мощная корневая система представляет собой химическую лабораторию, перерабатывающую сложные высоко- и

низкомолекулярные продукты человеческой жизнедеятельности и жидкие отходы производства. На поверхности корней формируются селективные микробиоценозы (бактерии, водоросли, простейшие, беспозвоночные), способствующие активной биодеструкции и поглощению органических и минеральных веществ [9].

Применение эйхорния для доочистки сточных вод на городских очистных сооружениях показали, что эффективность очистки воды от нефтепродуктов повысилась на 40 – 80 %, меди – на 10 – 30, железа – на 20 %, азота аммония – на 17 %, фосфатов (по фосфору) до 16 %, ХПК – до 19 %, взвешенных веществ и БПК5 на 2,5 – 5 %, показатели по СПАВ, цинку и хрому практически не изменились. Санитарно-бактериологические исследования этой очищенной сточной воды показали, что она соответствовала гигиеническим требованиям, предъявляемым к составу и свойствам воды водных объектов культурно-бытового водопользования [10, 11].

Анализ литературных данных свидетельствует о использовании высших водных растений для доочистки промышленных и ливневых сточных вод в естественных условиях, однако данные о таких способностях растений в крытых помещениях отсутствуют.

Для изучения возможности поглощать эйхорнией загрязняющие вещества из сточной воды в условиях крытого помещения были проведены эксперименты, учитывающие нормы водопотребления и водоотведения (ОН 016-01124328 – 2000). Согласно этим нормам содержание нефтепродуктов в сбрасываемых с продувкой сточных водах из оборотных технологических схем водопользования колеблется от 20 до 200 мг/л. Исходя из этого, эйхорнии содержались в трех емкостях со стоячей водой с содержанием нефтепродуктов 100 ПДКМР (10 мг/дм³), 500 ПДКМР (50 мг/дм³) и 1000 ПДКМР (100 мг/дм³).

В следующей серии экспериментов изучали сезонные различия в потреблении водным гиацинтом загрязняющих веществ в крытом помещении с искусственным освещением и обогревом, являющейся прообразом «промышленной оранжереи». Исследования проводились в осенне-зимний и весенне-летний периоды. Температура в помещении колебалась в пределах 12°-18°С. Для растений использовалась водопроводная вода, загрязненная железом аммонийными квасцами $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ (его навески в пересчете на железо давали исходное количество загрязнителя. Контрольные растения находились в воде без добавления квасцов. Опытные емкости различались исходной концентрацией железа. В ноябре две опытные емкости содержали 4,5 мг/л железа и 9,0 мг/л соответственно. В декабре и мае – 5,13 мг/л и 10,2 мг/л соответственно.

Определение содержания железа производили с интервалом 21 день (табл. 2). Масса растений определялась на лабораторных весах. Железо в растворе определяли по методу «Измерение массовой концентрации общего железа с 1,1-фенантролином».

Пробы для определения нефтепродуктов брали два раза с интервалом 7 дней во второй половине ноября (табл.1).

Таблица 1

Результаты поглощения водным гиацинтом нефтепродуктов
в условиях крытого помещения (стоячая вода)

Сроки забора	Концентрация в емкости					
	№1		№2		№3	
	C_i мг/дм ³	C_i /ПДК _в	C_i мг/дм ³	C_i /ПДК _в	C_i мг/дм ³	C_i /ПДК _в
1 неделя	10	100 (100%)	50	500	100	1000
2 неделя	5,2	52 (48%)	24,8	248 (50,4%)	48	480 (52%)
3 неделя	2,3	23 (77%)	8	80 (84%)	15	150 (85%)

Из данных (табл. 1) следует, что через неделю эксперимента концентрация нефтепродуктов снизилась во всех емкостях по сравнению с фоновой. Так, при исходной концентрации 100 % ПДКМР – на 48 %, при 500 % ПДКМР – на 50,4 % и при 1000 % ПДКМР – на 52 %. Через 2 недели (срок наблюдения) концентрация нефтепродуктов уменьшилось соответственно на 77, 84 и 85 %.

Таблица 2

Результаты опытов по поглощению железа водным гиацинтом
в условиях «промышленной оранжереи»

Дата проведения опыта		ПДК железа, мг/л	Концентрация железа, мг/л				Относительная концентрация, C_i /ПДКв				Очистка, %	
месяц	число		исходная емкость		конечная емкость		исходная емкость		конечная емкость		емкость	
			№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2
ноябрь	8-29	0,3	4,5	9,0	3,48	6,0	15	30	11,6	20	22,7	33,3
декабрь	6-27	0,3	5,13	10,19	4,13	7,49	17,1	34	13,8	25	19,5	26,5
май-июнь	31-21	0,3	5,13	10,19	3,07	4,07	17,1	34	10,2	13,5	40,2	60,1

Из данных (табл. 2) следует, что в ноябре очистка воды от железа водным гиацинтом составила 22,7 % в первой емкости и 33,3 % во второй. В декабре 19,5 % и 26,5 %, а в мае-июне – 40,2 % и 60,05 % соответственно.

Изменение массы растений в ходе экспериментов представлено в табл. 3. Анализ данных, представленных в табл.3, показывает, что в ноябре и декабре масса контрольных растений в ходе эксперимента уменьшалась. В мае-июне наблюдалось увеличение массы контрольных растений во все сроки определений.

Таблица 3

Динамика веса эйхорнии в опытах по поглощению железа (стоячая вода)

Месяц	Суток начала эксперимента	Изменение веса растений от предыдущего, %		
		Емкость №1	Емкость №2	Емкость контрольная
ноябрь	10	44	62	-1,9
	21	11	2	-2,1
	всего	55	64	-4
декабрь	7	4,7	8,2	-2,4
	14	5,8	9,6	-1,8
	21	6,0	9,3	-0,9
	всего	15,5	27,1	-5,1
май-июнь	7	25	28	2,8
	14	20	22	3,6
	21	28	30	6,8
	всего	73	80	13,2

Масса опытных растений увеличивалась в ходе всего эксперимента, при этом выявлены следующие закономерности:

1. Максимальная прибавка в весе растений наблюдалась в мае-июне, минимальная – в декабре.
2. Прибавка в весе находится в прямой зависимости от концентрации железа в воде (в емкости № 1 прибавка в весе во все месяцы наблюдений меньше, чем в емкости № 2).
3. Поглощение железа растениями также находится в прямой зависимости от концентрации железа. Таким образом, четко прослеживается связь между увеличением массы растений и потреблением ими железа из стоячей воды. Кроме того, в условиях крытого помещения и стоячей воды также отчетливо прослеживается сезонная активность эйхорнии в поглощении загрязняющих веществ, связанная, вероятно, с длительностью светового дня.

Исследования распределения железа по тканям эйхорнии в процессе всасывания показали, что железо находилось как в листьях, так и в корнях растений в соотношении 3:4.

В результате проведенной работы экспериментально показана возможность очистки загрязненной воды с помощью водного гиацинта в условиях «промышленной оранжереи». При этом полученные данные свидетельствуют, что даже в неблагоприятный осенне-зимний период эйхорния продолжает очищать воду от нефтепродуктов.

Эксперименты с соединениями железа показали, что процесс поглощения сопровождается изменением веса растений, причем показатели изменения веса и количества поглощенного железа коррелируют между собой и с его концентрацией в растворе. Сама же ассимиляция железа происходит как корнями, так и листьями эйхорнии.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что активность поглощения зависит от длительности светового дня, который в условиях «промышленной оранжереи» можно искусственно увеличивать. Таким образом, показана возможность использования водного гиацинта (эйхорнии) для очистки промышленных сточных вод в условиях крытого помещения.

Литература

1. Финоченко, В.А. Инженерная экология / Т.А. Финоченко, В.А. Финоченко, Г.Н. Соколова // - ФГБОУ ВО РГУПС. - Ростов н/Д: 2019. – 164 с.
2. Веснин, Н.М. Глубокая очистка шахтных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ с использованием гидробиотических очистных сооружений / Н.М. Веснин, О.М. Веснина // ВНИИОСуголь - Пермь, 1985.150 с.



3. Мячин, В.А. Новая технология биологической очистки сточных вод / В.А. Мячин // Экология и промышленность России.- 1998, № 5. С. 18-19.
 4. Финоченко, В.А. Анализ методов определения нефтепродуктов в природных и сточных водах / Финоченко В.А., Охрименко Л.И, Финоченко Т.А. // Транспорт-2000: Ростов н/Д, РГУПС, 2000. 110 с.
 5. Гарин, В.М. О некоторых нетрадиционных способах очистки сточных вод / Гарин В.М., Кленова И.А., Наумова И.А., Финоченко Т.А., Чикина Н.Л., Шатихина Т.А. // Экологическая безопасность городов юга России и рациональное природопользование. 2006. – С. 214-223
 6. Morkys, A.I. Evaluation of experiments involving the study of plant orientation and growth under different gravitational conditions / A.I. Morkys, R.S. Laurinacius // Adv. Space Res. - 1989.-9, № 11. С. 23-32.
 7. А.с. СССР 675567, МКИ С 02 С 1/2. Канал для очистки сточных вод. Опубл. 20.10.78
 8. Попов, А.А. Проблемы комплексного экологического регулирования и возможные пути их решения / А.А. Попов, В.Н. Дерябин, В.В. Бондаренко // Эколого-водоохранный вестник, - Екатеринбург, 1998,- Вып. 2.-С. 132-134.
 9. Дмитриев, А.В. Технология биологической очистки и доочистки малых рек, водоемов и истоков / А.В. Дмитриев, Б.Ф. Рыженко, Ю.Р. Змиевец, К.Г. Сокол // Экология и промышленность России,- 1998,- № 4. С. 25-30.
 10. Катков, А.С. Применение эйхорнии на городских очистных сооружениях / А.С, Катков // Экология и промышленность России.- 1999-№1. С. 17-21
 11. Серпокровлов Н. С., Петренко С. Е., Борисова В. Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine /archive/n2y2013/1602](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602)
-

References

1. Finochenko V.A. Inzhenernaya ekologiya [Engineering ecology]. T.A. Finochenko, V.A. Finochenko, G.N. Sokolova. RGUPS. Rostov n/D: 2019. 164 p.
2. Vesnin H.M., Vesnina O.M. Glubokaya ochistka shakhtnykh vod os nefteproduktov i vzveshennykh veshchestv s ispol'zovaniyem gidrobochanicheskikh ochistnykh sooruzheniy [Deep treatment of mine water, oil products and suspended solids using hydro-mechanical treatment facilities]. VNIIO Sugal'. Perm', 1985. 150 p.
3. Myachin V.A. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 1998, № 5. Pp. 18-19.
4. Finochenko V.A., Okhrimenko L.I, Finochenko T.A. Analiz metodov opredeleniya nefteproduktov v prirodnykh i stochnykh vodakh [Analysis of methods for determination of petroleum products in natural and wastewater]. Transport-2000. Rostov n/D, RGUPS, 2000. 110 p.
5. Garin V.M., Klenova I.A., Naumova I.A., Finochenko T.A., Chikina N.L., Shatikhina T.A. Ekologicheskaya bezopasnost' gorodov yuga Rossii i ratsional'noye prirodopol'zovaniye, 2006. Pp. 214-223
6. Morkys A.I. Adv. Space Res. 1989. № 11. Pp. 23-32.
7. A.s. SSSR 675567, MKI S 02 S 1/2. Kanal dlya ochistki stochnykh vod [The channel for wastewater treatment]. Opubl. 20.10.78
8. Popov A.A., Deryabin V.N., Bondarenko V.V. Ekologo-vodookhranny vestnik, Yekaterinburg, 1998, № 2. Pp 132-134.
9. Dmitriyev A.V., Ryzhenko B.F., Zmiyevevets Y.R., Sokol K.G. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 1998, № 4. Pp. 25-30.
10. Katkov, A.S. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 1999, №1. Pp. 17-21.
11. Serpokrylov N.S., Petrenko S.Y., Borisova V.Y. Inzhenernyy vestnik Dona», 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine /archive/n2y2013/1602](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602).