

Л. Д. Романчук, Т. П. Федонюк, В. М. Пазич

Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина

ФИТОМЕЛИОРАТИВНЫЕ И ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИТОВ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД Г. ЖИТОМИР (УКРАИНА)

В статье обоснована возможность использования гидробионтов видов *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms и *Pistia stratiotes* L. в гидрофитной очистке сточных вод г. Житомир (Украина) и определены перспективные пути использования отработанной фитомассы растений.

➤ **Ключевые слова:** гидрофитная очистка, сточные воды, фитомасса, водная растительность, загрязняющие вещества.

Введение

Биологическая очистка – наиболее распространенный способ удаления органических веществ из городских сточных вод. Биологические очистные сооружения составляют около 55% от общего числа всех очистных сооружений [1]. В последние десятилетия отмечается тенденция изменения качественного состава городских сточных вод за счет увеличения доли азот- и фосфорсодержащих органических веществ, появления повышенных концентраций тяжелых металлов, синтетических поверхностно-активных и других веществ. Многие биологические очистные сооружения спроектированы еще в 1950-х годах и соответствуют природоохранным нормативам того времени, в настоящее время по техническим причинам не могут обеспечить соблюдение предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ в природные водоемы, в том числе биогенных элементов [2].

В связи с вышеизложенным, актуальной становится разработка методов и технологий по снижению содержания биогенных элементов в процессе биологической очистки городских сточных вод. По литературным данным эффективным методом удаления биогенных элементов является использование высших водных растений (ВВР) [1, 2, 3]. Есть сведения об использовании отдельных гидрофитов в технологическом процессе биологической очистки городских сточных вод [5, 6, 7].

Высшая водная растительность существенно влияет на химические свойства воды и выступает биологическим фильтром в процессе естественного самоочищения водоемов. Растения являются чувствительными индикаторами гидрологического и термического режимов водоемов, характеризуют их трофический статус, возраст и другие свойства [1]. В условиях Полесья Украины некоторые гидрофиты выращивали с целью использования для очистки сельскохозяйственных и бытовых стоков [6, 7]. Однако эколого-биологические и хозяйственные свойства гидробионтов изучены недостаточно в условиях Житомирщины Украины. Поэтому исследования условий роста, вопрос возможности их практического применения представляет значительный хозяйственный интерес.

Цель, задачи и объекты исследований

Целью работы была апробация способа гидрофитного способа очистки воды, определения эффекта очистки воды в условиях модельных лабораторных систем и определения перспективных путей использования отработанной фитомассы.

В качестве тест-объектов для исследований были выбраны представители разных групп высших водных растений, относящихся к разным отделам и семействам. Среди них представители свободно плавающих на поверхности воды растений – *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (сем. *Pontederiaceae*) и *Pistia stratiotes* L. (сем. *Araceae*). Все указанные тест-объекты успешно использовались ранее для биотестирования. Растения отбирали из популяций, которые поддерживались в искусственных водоемах Ботанического сада Житомирского национального агроэкологического университета (рис. 1.).

Планирование промышленного эксперимента осуществляли в соответствии с методикой Горского В. Г. [8]. Растения помещали в модельные установки (емкостью 0,25 м³), в которые загружали воду, поступающую на насосную станцию первого подъема Комунального предприятия «Житомирводоканал». Продолжительность периодов отбора проб составляла 10 суток.

В сосуды с отстоянной в течение 48 часов водопроводной водой помещали растения суммарной биомассой (сырой вес): 30–50 г (*E. crassipes*) и 10–20 г (*P. stratiotes*). В опытах с использованием гидробионтов – объем воды составлял 200 л. Вычисляли число растений, чтобы количество фитомассы на всех вариантах было приблизительно одинаковым. Каждая модельная система содержала рас-

тения одного вида, а также их группу. За контроль брался вариант без растений. Инкубация проводилась в условиях естественной фотопериодичности.



Рисунок 1 – Места отбора растительного материала для проведения исследований фитомелиоративных свойств растений (озеро Ботанического сада ЖНАЕУ)

Опыты с мониторингом физико-химических характеристик воды в течение четырех 10-дневных периодов проводили с использованием воды, поступающей на насосную станцию первого подъема КП «Житомирводоканал» для определения влияния гидробионтов на физико-химические показатели качества исследуемой воды. Каждые 10 дней в течение периода исследований отбирались пробы воды согласно [9, 10], для определения их физико-химического состава. Аналитические работы осуществляли в соответствии с действующими руководящими нормативными документами [9–14] и методическими разработками [15–17] в отделе инструментально-лабораторного контроля Государственной экологической инспекции в Житомирской области.

Результаты исследования и их обсуждение

В период проведения исследований, учитывая относительно жаркий период июля–августа 2015 года, наивысшая температура воды р. Тетерев зафиксирована с 12 по 15 августа на уровне 25 °С, наиболее низкая в периоды с 1 по 4 июля, с 13 по 18 июля и с 20 по 23 августа – на уровне 19 °С.

В эксперименте вода на момент загрузки в биореактор определялась как «мутная». Через 10 дней мутность воды значительно уменьшилась, и такие сточные воды можно было охарактеризовать как «мало мутные». В следующие две недели наблюдалось улучшение качества сточных вод по данному показателю, и в конце опыта вода характеризовалась как «прозрачная» (рис. 2 и 3).



Рисунок 2 – Мутность воды на момент загрузки на гидрофитную очистку в условиях КП «Житомирводоканал»

При отборе и перед загрузкой в биореакторы воды, она характеризовалась запахом с баллом IV (четкий запах, обращает на себя внимание). Через 10 дней пребывания гидробионтов в биореакторах запах уменьшался на два балла до отметки II. К концу опыта он характеризовался как «слабый» с баллом I, следовательно, применение гидрофитной очистки имело положительную тенденцию и по показателю снижения неприятного запаха.

Содержание взвешенных частиц в условиях эксперимента на протяжении всего периода исследований имела тенденцию к уменьшению, в частности в первые 10 дней проведения эксперимента их содержание в варианте №1 с выращиванием гидрофитов вида *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms снизилось на 10%, в варианте № 2 с выращиванием гидрофитов вида *Pistia stratiotes* L. – на 13%, в смешанном фитоценозе (вариант № 3) – на 3%, но уже во время следующего отбора проб после 10-дневного периода показатели по всем вариантам почти выровнялись и составили 16–11% от их пер-

воначального содержания. На момент завершения эксперимента общее снижение содержания взвешенных частиц высоким было на варианте № 2 с *Pistia stratiotes* L. – 30%, несколько ниже – на варианте № 1 – 27%, и еще ниже показатель извлечения взвешенных частиц оказался на варианте № 3 – 22%. На контроле снижение взвешенных частиц практически не фиксировалось и составило лишь 3% от его первоначального значения (табл. 1.).

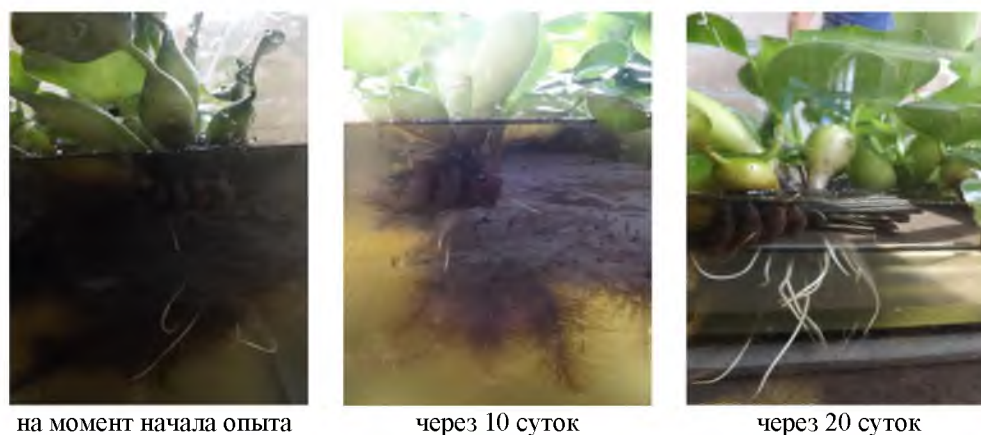


Рисунок 3 – Динамика мутности воды в течение периода эксперимента с использованием гидрофитной очистки в условиях КП «Житомирводоканал»

Итак, по показателю извлечения взвешенных частиц при использовании гидрофитной очистки наблюдалась положительная тенденция, в частности их содержание снижалось на 22–30% по сравнению с контролем.

Кроме органолептических показателей основной группы при проведении исследований мы обращали внимание и на группу химико-органолептических показателей и pH воды – один из важнейших показателей ее качества, который определяет характер протекания химических и биохимических процессов в природных водах и очистных сооружениях. Водородный показатель важен и при проведении ряда процессов ее обработки, например, при коагулировании, реагентном смягчении, обезжелезивании, выполнении некоторых видов химического анализа (табл. 1).

Во время выращивания гидробионтов в условиях опыта pH воды во все исследуемые периоды составлял 7,0–7,9, что соответствует значениям ПДК. Однако в вариантах с гидробионтами в первые 10 дней прохождения эксперимента наблюдалось движение pH в сторону нейтрализации воды. После преодоления 10-дневного периода водородный показатель начал смещаться в сторону дальнейшего снижения и на 24–25 день (варианты № 1 и № 3) пересек свое первоначальное значение. Следует отметить, что на момент завершения эксперимента данный показатель в исследуемой воде отвечал требованиям, которые существуют к составу и свойствам воды водоемов пунктов питьевого водопользования (6,5–8,5). На варианте № 2, в отличие от других вариантов, спада в сторону нейтрализации не происходило (10-дневный период), однако на момент завершения эксперимента значение водородного показателя было практически идентичным значениям, полученным на варианте № 1. На контроле такого интенсивного варьирования показателей выявлено не было. Очевидно, это связано с менее интенсивными биохимическими процессами, которые там происходили.

Особое значение при биологической очистке сточных вод имеет содержание азота и фосфора. При их недостатке биологическая очистка сточных вод может тормозиться, а при полном отсутствии становится вообще невозможной. Учитывая это, контроль содержания данных показателей имеет чрезвычайно большое значение. В сточных водах азот представлен, в основном, в виде минеральной (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) и органической (аминокислоты и другие органические соединения) составляющих. До очистки в городских сточных водах азот встречается только в двух формах – общей и аммонийной. Нитриты и нитраты появляются только после того, как проведена очистка сточных вод с помощью аэротенков и биофильтров. Окисленные формы азота появляются после биологической очистки воды, свидетельствуя о полном завершении процесса. Поэтому, анализ показателей азотного обмена мы осуществляли комплексно с учетом возможных процессов преобразования форм содержания азота.

По результатам наших исследований, показатели азотного обмена имели тенденцию к значительным колебаниям в течение всего периода исследований, что вполне характерно для сооружений биологической очистки. Очевидно, это связано с высоким содержанием аммиачного азота (0,79–0,83 мг/л) в начале эксперимента и его превращением из аммиачной формы в нитритную, а впоследствии и нитратную.

Динамика основных физико-химических показателей воды при гидроботанической очистке в условиях насосной станции первого подъема КП «Житомирводоканал»

№ п/п	Показатель качества воды	Вариант	Период инкубации, суток				
			0	10	20	30	40
1	рН	№1	7,50±0,262	7,10±0,248	7,29±0,255	7,85±0,275	7,88±0,258
		№2	7,53±0,163	7,43±0,260	7,67±0,268	7,86±0,271	7,90±0,275
		№3	7,55±0,284	7,00±0,245	7,30±0,255	7,74±0,279	7,74±0,279
		Контроль	7,52±0,273	7,50±0,262	7,51±0,285	7,54±0,269	7,56±0,266
2	Взвешенные вещества	№1	6,20±0,217	5,60±0,196	5,50±0,193	4,50±0,158	4,50±0,158
		№2	6,40±0,224	5,60±0,196	5,40±0,189	4,60±0,161	4,50±0,149
		№3	6,00±0,210	5,80±0,203	5,20±0,182	4,80±0,168	4,70±0,165
		Контроль	6,10±0,214	6,00±0,210	6,00±0,210	6,00±0,210	6,00±0,210
3	Аммиак (по азоту)	№1	0,79±0,025	0,50±0,015	0,50±0,016	0,51±0,018	0,49±0,017
		№2	0,67±0,023	0,50±0,017	0,50±0,015	0,50±0,015	0,48±0,016
		№3	0,66±0,023	0,57±0,019	0,56±0,019	0,55±0,019	0,52±0,018
		Контроль	0,61±0,035	0,60±0,021	0,60±0,026	0,59±0,026	0,60±0,021
4	Нитриты	№1	0,11±0,004	0,10±0,004	0,66±0,023	0,82±0,029	0,56±0,020
		№2	0,11±0,004	0,08±0,003	0,66±0,024	0,80±0,026	0,56±0,019
		№3	0,12±0,004	0,08±0,003	0,70±0,025	0,84±0,023	0,60±0,022
		Контроль	0,11±0,003	0,10±0,002	0,30±0,011	0,35±0,016	0,45±0,014
5	Нитраты	№1	1,5±0,052	1,40±0,049	1,30±0,046	н.ч.м.*	н.ч.м.*
		№2	1,80±0,063	1,70±0,053	1,30±0,048	н.ч.м.*	н.ч.м.*
		№3	1,80±0,061	1,80±0,061	1,45±0,049	н.ч.м.*	н.ч.м.*
		Контроль	1,75±0,059	1,75±0,050	1,66±0,054	1,50±0,045	1,30±0,046
6	Фосфаты	№1	2,76±0,097	2,58±0,090	1,78±0,062	1,30±0,045	0,48±0,017
		№2	2,76±0,097	1,58±0,055	1,40±0,049	1,33±0,047	0,39±0,014
		№3	2,66±0,093	1,60±0,056	1,41±0,049	0,83±0,029	0,49±0,017
		Контроль	2,63±0,092	2,52±0,088	2,53±0,089	2,47±0,086	2,45±0,086
7	ХПК	№1	38,20±1,337	36,60±1,281	22,00±0,770	18,08±0,633	17,06±0,597
		№2	36,80±1,288	36,20±1,267	20,20±0,707	18,40±0,644	18,00±0,630
		№3	34,40±1,204	35,60±1,246	20,20±0,712	18,24±0,638	18,10±0,634
		Контроль	35,80±1,253	35,60±1,251	33,40±1,169	32,90±1,152	32,20±1,127
8	БПК ₅	№1	4,80±0,168	4,60±0,161	2,26±0,079	2,26±0,079	2,25±0,079
		№2	4,60±0,161	4,50±0,158	2,50±0,088	2,50±0,088	2,30±0,081
		№3	4,20±0,147	4,40±0,154	2,30±0,081	2,30±0,081	2,28±0,080
		Контроль	4,80±0,168	4,90±0,172	4,70±0,165	4,60±0,161	4,70±0,165
9	Железо общее	№1	0,62±0,022	0,52±0,016	0,38±0,013	0,38±0,013	0,30±0,011
		№2	0,60±0,021	0,50±0,021	0,34±0,012	0,38±0,013	0,28±0,010
		№3	0,58±0,020	0,51±0,018	0,45±0,016	0,46±0,016	0,36±0,013
		Контроль	0,59±0,021	0,58±0,020	0,58±0,020	0,57±0,020	0,54±0,019
10	Сухой остаток	№1	389,0±13,615	373,0±13,055	364,0±12,740	352,0±12,320	342,0±11,970
		№2	375,0±13,125	363,0±12,705	350,0±12,250	336,0±11,760	333,0±11,655
		№3	387,0±13,545	364,0±12,740	360,0±12,600	360,0±12,600	340,0±11,900
		Контроль	386,0±13,510	383,0±13,405	380,0±13,300	379,0±13,265	374,0±13,090
11	Хлориды	№1	56,44±1,975	52,48±1,837	51,12±1,789	52,48±1,837	50,00±1,750
		№2	58,28±2,040	56,80±1,988	55,32±1,936	55,32±1,936	53,12±1,859
		№3	58,64±2,052	58,16±2,036	53,96±1,889	52,48±1,837	52,50±1,838
		Контроль	50,16±1,756	52,50±1,838	51,90±1,817	52,50±1,838	58,50±2,048
12	Сульфаты	№1	98,0±2,430	80,0±2,800	80,0±2,814	79,0±2,765	80,0±2,800
		№2	84,0±2,940	76,0±2,660	70,0±2,450	68,0±2,380	70,0±2,450
		№3	82,0±2,870	78,0±2,730	78,0±2,730	74,0±2,590	74,0±2,590
		Контроль	83,0±2,905	82,0±2,870	79,0±2,765	79,0±2,765	83,0±2,905
13	АПВ	№1	0,10±0,004	0,06±0,002	0,06±0,002	0,05±0,002	0,04±0,001
		№2	0,10±0,004	0,08±0,003	0,07±0,002	0,07±0,002	0,06±0,002
		№3	0,09±0,003	0,07±0,002	0,06±0,002	0,05±0,002	0,05±0,002
		Контроль	0,10±0,004	0,10±0,004	0,10±0,004	0,10±0,004	0,09±0,003

Примечание: * – н.ч.м. – ниже чувствительности метода

Об этом свидетельствуют показатели динамики содержания аммиачного азота в воде (табл. 1). Особенно заметно снижалось его содержание при культивировании *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (вариант № 1). Наиболее интенсивно аммиачный азот окислялся в первые 10 дней прохождения эксперимента, за этот период разрушалось около трети его общего содержания – 38% на варианте № 1, 28% – на варианте № 2, и 21% – на варианте № 3, на контроле содержание аммиака практически не менялось. Следовательно, при культивировании *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms значение аммиака снижались более интенсивно, чем при культивировании *Pistia stratiotes* L. и смешанного фитоценоза обеих культур.

Об интенсивном окислении аммиачной формы азота при гидрофитной очистке свидетельствует и данные динамики нитрит-ионов (табл. 1). Резкое повышение концентрации нитрит-ионов после 10-дневного периода мы тесно связываем со снижением концентрации аммиак-ионов. Как видно из таблицы, появление окисленных форм на всех вариантах с гидробионтами происходит практически одинаково. В первые 10 дней варьирования показателей содержания нитрит-ионов находилось в пределах 10%, однако с 10 по 20 сутки количество нитритов возрастало в 6,6–8,75 раз. Повышение количества нитритов на всех вариантах продолжалось около месяца, а дальше их содержание падало, что говорит об усвоении окисленных форм гидробионтами, которые принимали участие в процессах очистки, за последний 10-дневный период (с 30 по 40 сутки) количество нитритов снижалось на 14–15%.

На контроле, начиная с 10 дня, концентрация нитритов увеличивалась заметно более низкими темпами по сравнению с вариантами гидрофитной очистки (только в 3 раза). Тенденции к падению количества нитритов в конце эксперимента не наблюдалось. В результате концентрация нитритов на контроле выросла в 4,5 раза.

Как видно из табл. 1 в первые 10 дней эксперимента количество нитрат-ионов меняется незначительно, начиная с 10 суток нитрат-ионы фиксировались гидробионтами, об этом говорит падение показателей их содержания на вариантах №№ 1–3. На контроле же их содержание менялось незначительно (в пределах 5%). Начиная с 20 суток, концентрация нитратов уменьшается, то есть практически полностью утилизируется гидробионтами и уже к концу эксперимента нитратов обнаружено не было. На контроле же содержание нитратов на конец эксперимента составило 1,3 мг/л, что составляет 73% от их первоначального содержания.

Появление окисленных форм азота свидетельствует о глубоком прохождении процесса очистки, ведь их повышение на фоне общего снижения БПК говорит о том, что углеродсодержащие соединения интенсивно окисляются. Итак, по показателям нитратного обмена наблюдается положительная тенденция при использовании для биоочистки гидробионтов.

Содержание фосфатов в городских сточных водах находится в пределах 5–10 мг/л и обусловлено физиологическими выделениями людей, отходами хозяйственной деятельности человека и некоторыми видами производственных сточных вод.

Как показали результаты исследований, потребление гидрофитами фосфатов происходило достаточно быстрыми темпами (табл. 1). В течение 10-дневного периода интенсивное снижение фосфатов – 43 и 40% происходило на вариантах № 2 и № 3, где на 20 сутки содержание их снизилось почти вдвое. На варианте № 1 удаление фосфатов происходило медленнее – 7% в первые 10 суток, однако на 20 и 30 сутки этот показатель значительно вырос и составил 35 и 53% соответственно. На момент завершения эксперимента извлечение фосфатов на всех вариантах было примерно на одном уровне, 86% – на варианте № 2, несколько ниже этот показатель оказался на вариантах № 1 и № 3 – 83 и 82% соответственно. На контроле же содержание фосфатов колебалось незначительно и снизилось в первые 10–20 суток проведения эксперимента на 4%, на момент завершения эксперимента содержание фосфатов изменилось лишь на 7%, что на 75–79% меньше, чем на вариантах гидрофитной очистки.

Окисляемость воды – это очень важный показатель анализа качества воды, ведь именно эта величина характеризует суммарное содержание в воде органических веществ и легкоокисляемых неорганических примесей. Для характеристики воды в условиях опыта мы определяли дихроматную окисляемость. Поскольку она по сравнению с перманганатной окисляемостью, более точно характеризует содержание органических загрязнений, поскольку дихромат калия окисляет около 90% присутствующих в воде органических веществ, в том числе трудноокисляемых. В условиях эксперимента показатель ХПК при гидрофитной очистке на всех вариантах имел тенденцию к снижению. Причем наиболее интенсивно дихроматная окисляемость снижалась в период с 10 по 20 сутки – 42%, далее интенсивность процесса снижалась и до окончания эксперимента упала на 55% в варианте № 1 (табл. 1).

Несколько быстрее снижался данный показатель на варианте с использованием пистии в период с 10 по 20 сутки – 45%, однако конечный показатель оказался ниже по сравнению с вариантом

№ 1, смешанный фитоценоз (вариант № 3) влиял на снижение ХПК менее – 41% – в период с 10 по 20 сутки и 47% в конце эксперимента.

На контроле также наблюдалась тенденция к снижению ХПК, однако данный процесс происходил более медленно – только 7% – в период с 10 по 20 сутки, и лишь 10% в конце эксперимента.

Также мы определяли показатель, характеризующий степень органического загрязнения водоема и сточных вод – биохимическое потребление кислорода (БПК). Биохимическое потребление кислорода указывает на наличие в водном растворе веществ, которые могут быть разложены в ходе биохимических реакций. Биохимическое окисление различных веществ происходит с разной скоростью. В течение периода проведения эксперимента оно имело подобную тенденцию с колебаниями показателя ХПК. В частности, в первые 10 суток проведения эксперимента значительного варьирования данного показателя не наблюдалось, однако с 10 по 20 сутки на всех вариантах гидрофитной очистки наблюдалось резкое его падение: с 4,6 мгО₂/л до 2,26 мгО₂/л, что составляет 53% от его первоначального значения на варианте с эйхорнией (№ 1), с 4,5 мгО₂/л до 2,5 мгО₂/л, что составляет 46% от его первоначального значения на варианте с пистией (№ 2) и с 4,4 мгО₂/л до 2,3 мгО₂/л, что составляет 45% от его первоначального значения на варианте со смешанным фитоценозом обеих культур (№ 3) (табл. 1). Начиная с 20 суток прохождения эксперимента, БПК₅ воды практически не менялось и осталось на прежнем уровне, на варианте № 2 наблюдалось незначительное снижение данного показателя, и в конце эксперимента его общее снижение достигло 50%, что на 3% ниже варианта № 1. На контроле снижение БПК₅ практически не фиксировалось и составило лишь 4% от его первоначального значения.

Итак, по обоим показателям (ХПК и БПК₅) наблюдается положительная тенденция по улучшению качества воды. Несмотря на присутствие в воде трудноокисляемых органических соединений, гидрофитная загрузка экспериментальных сооружений биологической очистки уменьшала величины этих показателей на 40–53%. В таком случае можно рекомендовать в технологию очистки сточных вод включить предварительную очистку с помощью гидробактерий.

Не менее важным показателем, особенно при анализе сточных вод, является железо общее. Вода, содержащая железо сначала прозрачная и чистая на вид. Однако, даже при непродолжительном контакте с кислородом воздуха железо окисляется, придавая воде желтовато-бурую окраску.

В условиях эксперимента уже в первые 10 дней концентрация железа во всех вариантах гидрофитной очистки, кроме контроля, уменьшалась. Наиболее интенсивно этот процесс происходил на варианте № 2 – на 17%, а с 10 по 20 сутки интенсивность процесса извлечения железа возрастала и составила 43%, в конце исследований концентрация железа снижалась на 53% (табл. 1).

Незначительно ниже интенсивность изъятия железа наблюдалась на варианте № 1, в частности в первые 10 дней содержание железа падало на 16%, с 10 по 30 сутки было изъято его около 39%, а в конце исследований содержание железа снизилось более чем на половину (52%).

Несколько ниже показатели извлечения железа наблюдались на варианте № 3 со смешанным фитоценозом – лишь 12% в первые 10 суток, следующие 20 суток содержание железа снижалось лишь на 22%, что составляет пятую часть, и в конце проведения исследований смешанным фитоценозом было изъято чуть больше трети общего его количества (38%).

На контроле концентрация железа варьировала мало, снижение его концентрации составляло только 2% в первые 10 дней исследования, по окончании исследований содержание железа снижалось всего на 8%, что на 30–46% ниже, чем на вариантах гидрофитной очистки.

Также нами анализировался показатель общей минерализации воды, который указывает на количество растворенных веществ, преимущественно минеральных солей в 1 л воды. Количество органических веществ в сухом остатке составляет не более 10%, поэтому можно считать, что этот показатель характеризует общую минерализацию воды. В условиях опыта сухой остаток воды составлял чуть менее половины указанного норматива (табл. 1).

В процессе гидрофитной очистки общая минерализация воды снижалась достаточно медленно и в первые 20 дней проведения исследований снижение содержания минеральной части составляло 6–7% в вариантах с гидрофитной очисткой и только 2% в контроле.

На момент завершения эксперимента снижение содержания сухого остатка на всех вариантах гидрофитной очистки было примерно на одном уровне и составило 11–12%, на контроле этот показатель изменился лишь на 3%, что на 7–8% меньше, чем на вариантах гидрофитной очистки (табл. 1).

Учитывая это, кроме характеристики показателя общей минерализации мы провели анализ содержания хлоридов и сульфатов. На городских очистных сооружениях содержание хлоридов и сульфатов практически не меняется, а их концентрации в сточных водах не имеют существенного значения ни для физико-химических, ни для биологических процессов очистки воды. Значение

имеет только верхний предел концентрации хлоридов, что определяет возможность существования бактерий.

В условиях опыта варьирование содержания хлоридов было незначительным и применения гидрофитной очистки существенно не повлияло на этот показатель. За весь период исследований содержание их снизилось лишь на 11% в варианте № 1 с гидрофитной загрузкой вида *E. crassipes*, несколько меньше на варианте со смешанным фитоценозом – 10%, на варианте с *P. stratiotes* снижение содержания хлоридов было в пределах 9% (табл. 1).

В течение периода проведения исследований концентрация сульфатов в воде имела также тенденцию к незначительному уменьшению.

На варианте № 1 с использованием *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms в первые 10 суток эксперимента концентрация сульфатов снижалась на 18%, а далее их содержание стабилизировалось и до окончания эксперимента оставалось на том же уровне. На варианте № 2 с использованием *Pistia stratiotes* L. концентрация сульфатов варьировала несколько меньше – в среднем на 17%, однако процесс извлечения сульфатов происходил медленнее, в первые 10 суток концентрация сульфатов уменьшалась лишь на 10%. Использование смешанного фитоценоза в варианте № 3 привело к снижению концентрации сульфатов лишь на 5% в течение первых 20 суток эксперимента, а на момент завершения на 10% от общего начального их содержания. На контроле снижение сульфатов на 5% произошло на 20 сутки проведения эксперимента, однако на момент завершения эксперимента их концентрация вернулась на исходный уровень (табл. 1).

В исследованных водах АПАВ обнаружены в концентрации 0,1 мг/дм³. Загрузка воды в биореакторы показала положительную тенденцию и по улучшению данного показателя. Лучше процесс биоочистки проходил в варианте с растениями вида *E. crassipes*, где содержание АПАВ снизилось на 40% в течение первых 10 суток эксперимента, снижение концентрации АПАВ вдвое на варианте № 1 состоялось на 30 сутки проведения исследований, а к завершению опыта их концентрация снизилась на 60% (табл. 1., № п/п 15).

На вариантах № 2 и № 3 в первые 10 суток АПАВ изымались только на 20–22%, на момент завершения эксперимента концентрация АПАВ снизилась в среднем на 40–44%. Снижение данного показателя на контроле без гидробионтов практически не происходило в течение месячного срока, однако на момент завершения эксперимента 10% их окислились в результате природных физико-химических процессов.

Заключение

Обнаруженные в данном исследовании количественные показатели эффекта очистки воды с помощью гидрофитной загрузки, устойчивости макрофитов видов *Pistia stratiotes* L. и *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms к повышенному содержанию особо агрессивных загрязнителей могут использоваться для восстановления водных объектов и фиторемедиации воды. Использование гидрофитной загрузки по всем исследованным вариантам улучшало показатели качества воды, а эффект очистки от загрязнителей по некоторым показателям составил более 80%. Разработанные составы гидрофитной загрузки показали высокую устойчивость к повышенным концентрациям загрязнителей в воде. Проведенные опыты подтвердили, что изучение устойчивости макрофитов в подобных экспериментальных условиях даст новые дополнительные данные, которые позволяют сопоставить различные виды растений с точки зрения их перспективности для использования в целях очистки и доочистки водных объектов. Исследованные виды гидробионтов: эйхорния и пистия рекомендованы для целей фиторемедиации сточных вод.

Список литературы

1. Винберг, Г. Г. Биологические пруды в практике очистки сточных вод [Текст] / Г. Г. Винберг, Т. Н. Сивко, Р. И. Левина: под ред. П. В. Остапеня. – Минск : Беларусь, 1966. – 232 с. – Б. ц.
2. Seidel, K. Macrophytes and water purification / K. Seidel. – Biological Control of Water Pollution. J. Tourbier & R. Pierson, Jr., eds. – 1976. – pp. 109–123.
3. Zimmels, Y., Kirzhner, F., Malkovskaja, A. Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel / Y. Zimmels, F. Kirzhner, A. Malkovskaja. – Journal of environmental management. – 2006. – Т. 81. – №. 4. – С. 420–428.
4. Арапова, А. В. Биологическое удаление азота и фосфора из городских сточных вод [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 03.00.16 : защищена 24.12.04 / Арапова А. В. – М.: [Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева], 2004. – 192 с.
5. Безотходная технология доочистки производственных и хозяйственных сточных вод с участием высших водных растений [Текст] / К. Б. Якубовский, И. В. Гриб, О. Н. Таран, Н. Г. Ткачук. – 1990. – 138 с. Деп. в ВИНТИ, № 2448-В80.

6. Василюк, Т. П. Використання гідробіонтів виду *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms для очистки стічних вод [Текст] / Т. П. Василюк // Наукові читання – 2013 : наук.-теорет. зб. / ЖНАЕУ. – Житомир : ЖНАЕУ, 2013. – Т. 1. – С. 38–41.
7. Біофільтр для очистки стічних вод різного походження з використанням вищої водної рослинності виду *Eichornia crassipes* [Текст] / Василюк Т. П., Дема В. М., Васенков Г. І., Пазич В. М. // Науковий вісник ЖНАЕУ: зб.наук.-техн.праць.– Житомир, 2009. – Вип. 1. – С. 283–289.
8. Горский, В. Г. Планирование промышленных экспериментов (модели статистики) [Текст] / В. Г. Горский, Ю. П. Адлер. – М.: Металлургия, 1974. – 264 с.
9. Вода. Общие требования к отбору проб [Текст]: ГОСТ 31861-2012. – Введ. 2014-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 27 с.
10. Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах [Текст]: КНД 211.1.4. 023-95. – Введ. 25.04.95. – К.: Технічний комітет з стандартизації ТК-82. – 1995. – 7 с.
11. Методика турбідиметричного визначення сульфат-іонів в очищених стічних водах [Текст]: КНД 211. 1.4. 026-95. – Введ. 25.04.95. – К.: Технічний комітет з стандартизації ТК-82. – 1995. – 7 с.
12. Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою у поверхневих та біологічно очищених водах [Текст]: КНД 211. 1.4. 027-95. – Введ. 25.04.95. – К.: Технічний комітет з стандартизації ТК-82. – 1995. – 7 с.
13. Методика фотометричного визначення амоній-іонів з реактивом Неслера в стічних водах [Текст]: КНД 211. 1.4. 030-95. – Введ. 25.04.95. – К.: Технічний комітет з стандартизації ТК-82. – 1995. – 7 с.
14. Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних стічних водах [Текст]: КНД 211. 1.4. 039-95. – Введ. 25.04.95. – К.: Технічний комітет з стандартизації ТК-82. – 1995. – 7 с.
15. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфат-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом восстановлением аскорбиновой кислотой [Текст]: ПНД Ф 14.1:2.112-97. – Введ. 21.03.97. – М., 1997. – 22 с.
16. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений pH в водах потенциометрическим методом [Текст]: ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. – Введ. 21.03.97. – М., 2004. – 22 с.
17. Методика выполнения измерений содержания сухого остатка (растворенных веществ) в сточных водах [Текст]: РД 118.02.8-89. – М., 1990. – 8 с.

L. D. Romanchuk, T. P. Fedonyuk, V. M. Pazich

PHYTOMELIORATIVE AND FITOREMEDIATIVE FEATURES OF WATER PLANTS IN WASTEWATER TREATMENT OF ZHYTOMYR (UKRAINE)

*The article substantiates the use of aquatic species *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. in sewage treatment in Zhytomyr city (Ukraine). Using hydrophytes in all investigated variants showed a positive trend for the improvement of all investigated parameters of water quality and purification effect of contaminants in some indicators has made more than 80%. The compositions hydrophytic loading showed a high resistance to high concentrations of pollutants in the water. The experiments confirmed that the study of the stability of macrophytes in these experimental conditions provides new additional data that allow us to compare different types of plants in terms of their prospects for use in the treatment and additional water bodies. Investigation of aquatic species: *eyhorniya* and *Piste* recommended for phytoremediation of wastewater.*