

ФИТОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИТОВ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ЖИТОМИРЩИНЫ УКРАИНЫ

Романчук Л.Д.,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Житомирский национальный агроэкологический университет

Федонюк Т.П.

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Житомирский национальный агроэкологический университет

Пазич В.М.

кандидат сельскохозяйственных наук,
Житомирский национальный агроэкологический университет

PHYTOMELIORATIVE FEATURES OF AQUATIC PLANTS IN WASTEWATER TREATMENT IN THE ZHYTOMIR REGION UKRAINE

LD Romanchuk, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Zhytomyr National Agroecological University

Fedonyuk TP, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhytomyr National Agroecological University

Pazich VM, Candidate of Agricultural Sciences Zhytomyr National Agroecological University

АННОТАЦИЯ

В статье обоснована возможность использования гидробионтов видов *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms и *Pistia stratiotes* L. в гидрофитной очистке сточных вод Житомирщины (Украина). Использование гидрофитной загрузки по всем исследованным вариантами показало положительную тенденцию по улучшению всех исследованных показателей качества воды, а эффект очистки от загрязнителей по некоторым показателям составил более 80%. Исследованные виды гидробионтов: эйхорния и пистия рекомендованы для целей фиторе медиации сточных вод.

ABSTRACT

The article substantiates the use of aquatic species *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. in sewage treatment in Zhytomyr region (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%. Investigation of aquatic species: *Eichhornia* and *Pistia* recommended for phytoremediation of wastewater.

Ключевые слова: сточные воды, биофильтр, фитомелиорация, гидрофиты, очистка, загрязнение.

Keywords: wastewater, biofilter, phytomelioration, hydrophytes, cleaning, pollution.

Постановка проблемы. Биологическая очистка – наиболее распространенный способ удаления органических веществ из городских сточных вод [1]. Многие биологические очистные сооружения, запроектированы еще в 50-х годах прошлого века 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 этим актуальной становится разработка методов и технологий по снижению содержания биогенных элементов в процессе биологической очистки городских сточных вод.

Анализ последних исследований и публикаций. По литературным данным эффективным методом удаления биогенных элементов является использование высших водных растений (ВВР) [1, 2, 3 и др.]. Есть сведения об использовании отдельных гидрофитов в технологическом процессе биологической очистки городских сточных вод [5 и др.].

Высшая водная растительность существенно влияет на химические свойства воды и выступает биологическим фильтром в процессе естественного самоочищения водоемов [1]. В условиях Полесья Украины некоторые из них выращивали с целью использования для очистки сельскохозяйственных и бытовых стоков [5].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Однако эколого-биологические и хозяйственные свойства гидробионтов изучены недостаточно в условиях Житомирщины Украины. Поэтому исследования условий роста, вопрос возможности практического применения гидрофитов представляет значительный хозяйственный интерес.

Цель статьи. 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 свободно плавающих на поверхности воды растений – *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (сем. Pontederiaceae) и *Pistia stratiotes* L. (сем. Araceae). Растения отбирали из популяций, которые поддерживались в искусственных водоемах Ботанического сада Житомирского национального агроэкологического университета.

Растения при этом помещали в модельные установки (емкостью 0,25 м³), в которые загружали воду, поступающую на насосную станцию первого подъема КП «Житомирводоканал». В сосуды с отстаивной 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 растения одного вида, а также их группу. За контроль брался вариант без растений. Инкубация проводилась в условиях естественной фотопериодичности.

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 для определения их физико-химического состава. Аналитические работы осуществляли в соответствии с действующими руководящими нормативными документами в отделе инструментально-лабораторного контроля Государственной экологической инспекции в Житомир-

ской области.

Изложение основного материала. В период проведения исследований, учитывая относительно жаркий период июля-августа 2015 года, природные воды, особенно поверхностные, редко бывают прозрачными. Мутность воды обусловлена наличием в ней взвешенных частиц песка, глины, органических примесей, что приводит к появлению цвета и запаха воды.

В условиях исследований 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. 1).



Рис. 1. Динамика мутности воды в течение периода эксперимента с использованием гидрофитной очистки

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 имел 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 выра-

щиванием 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 первоначального 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., № п/п 2).

Динамика основных физико-химических показателей воды при гидрботанической 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	Щелочность	№1	3,40±0,119	4,80±0,168	3,20±0,112	3,60±0,126	4,00±0,140
		№2	3,20±0,112	4,40±0,154	3,40±0,119	3,80±0,133	3,60±0,126
		№3	2,80±0,098	4,00±0,140	3,60±0,126	4,40±0,154	4,20±0,147
		Контроль	3,3±0,116	3,50±0,123	3,40±0,119	3,70±0,130	4,00±0,140
4	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
5	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
6	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
7	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
8	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
9	БПК5	№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
11	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

12	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
13	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
14	Сульфаты	№1	98,0±3,430	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
15	АПАВ	№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

*н.ч.м. – ниже чувствительности метода

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. Во время выращивания гидробионтов в условиях опыта рН 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 рН влево в сторону нейтрализации воды. После преодоления 10-дневного периода водородный показатель начал смещаться вправо и на 24-25 день (варианты № 1 и № 3) пересек свое первоначальное значение. Однако, 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.

Поскольку в большинстве природных вод, в том числе и условиях водозабора КП «Житомирводоканал» преобладают углекислые соединения, мы учитывали также и гидрокарбонатную и карбонатную щелочность. В течение всего периода проведения эксперимента щелочность исследуемой воды имела тенденцию к незначительным колебаниям. Наиболее заметными они оказались на первом варианте (табл. 1., № п/п 3). В частности, в первые 10 дней эксперимента показатель щелочности с 3,4 мг-экв/дм³ по-

вышался до 4,8 мг-экв/дм³, однако в течение следующих 20 дней снова снижался к значению 3,2 мг-экв/дм³, а далее к окончанию эксперимента снова повышался до отметки 4,0 мг-экв/дм³. Подобные колебания щелочности наблюдались и на других вариантах. Наибольшее значение щелочности зафиксировано в варианте № 3 со смешанным фитоценозом через месяц от начала эксперимента – 4,4 мг-экв/дм³. Значение щелочности на контроле варьировало несколько меньше, однако тенденция к нестабильности в течение всего периода исследований сохранялась и там. Итак, можем предположить, что присутствие гидробионтов в сооружениях биологической очистки незначительно повлияло на динамику данного показателя.

Особое значение при биологической очистке сточных вод имеет содержание азота и фосфора. При их недостатке биологическая очистка сточных вод может тормозиться, а при их полном отсутствии становится вообще невозможной. Учитывая это, контроль содержания данных показателей имеет чрезвычайно важное значение. 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.

Об этом свидетельствуют показатели динамики содер-

жания аммиачного азота в воде (табл. 1., № п/п 4). 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., № п/п 5). 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 более низкими темпами по сравнению с вариантами гидрофитной очистки (только в 3 раза). Тенденции к падению количества нитритов в конце эксперимента не наблюдалось. В общем концентрация нитритов на контроле выросла в 4,5 раза.

Как видно из табл. 1., № п/п 6 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 глубококом 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.

Потребление гидрофитами фосфатов происходило также достаточно интенсивно (табл. 1., № п/п 7). 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 совершения 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. В условиях эксперимента показатель ХПК при гидрофитной очистке на всех вариантах имел тенденцию к снижению. Причем наиболее интенсивно дихромантная 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., № п/п 8).

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). На протяжении 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., № п/п 9). 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 гидробионтов.

Не менее важным показателем, особенно при анализе сточных вод, является железо общее. 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 возросла и составила 43%, в конце исследований концентрация железа снижалась на 53% (табл. 1., № п/п 10).

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. В условиях опыта сухой остаток воды составлял чуть менее половины указанного норматива (табл. 1., № п/п 11).

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 содержание сухого остатка на всех вариантах гидрофитной очистки было примерно на одном уровне и составило 11-12%, на контроле этот показатель изменился на 3%, что на 7-8% меньше, чем на вариантах гидрофитной очистки (табл. 1., № п/п 12).

Учитывая это, кроме характеристики показателя общей минерализации мы провели анализ содержания хлоридов и сульфатов. 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., № п/п 13).

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., № п/п 14).

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 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.

Выводы и предложения. 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 вносят вклад в информацию для более обоснованного применения водных растений с целью восстановления водных объектов и фиторемедиации воды. Использование гидрофитной загрузки по всем исследованным вариантам показало положительную тенденцию касательно улучшения всех исследованных показателей качества воды, а эффект очистки от загрязнителей по некоторым показателям составил более 80%.

Список литературы

1. Винберг Г.Г. Биологические пруды в практике очистки сточных вод / Г.Г. Винберг, П.В. Остапеня., Т.Н. Сивко, Р.И. Левина // под ред. Остапеня П.В. – Минск: «Беларусь», 1966. – 231с.
2. Seidel, K., *Macrophytes and water purification*, in: *Biological Control of Water Pollution*, T. Tourbier, and R W. Pierson, eds., Pennsylvania University Press. Philadelphia. – 1976. – pp. 109-122
3. Zimmles Y, Kirzhner F, Malkovskaja A (2006) Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for

treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management* 81: 420-428.

4. Василюк Т. П. Використання гідробіонтів виду *Eichornia crassipes* (mart) solms для очистки стічних вод / Т. П. Василюк // Наукові читання – 2013 : наук.-теорет. зб. / ЖНАЕУ. – Житомир : ЖНАЕУ, 2013. – Т. 1. – С. 38–41.

5. Біофільтр для очистки стічних вод різного походження з використанням вищої водної рослинності виду *Eichornia crassipes* / 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.