

ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД от соединений азота и фосфора ПОГРУЖЕННЫМИ МАКРОФИТАМИ

Оценивалась возможность использования высших водных растений рода *Ceratophyllum* для доочистки от биогенных веществ коммунально-бытовых сточных вод после их предварительной очистки в биофильтре. Экспериментально исследованы особенности выведения соединений азота и фосфора из сточных вод с участием сообщества макрофитов и микробиоценоза.

Введение

В целях сохранения и восстановления качества водных объектов предъявляются высокие требования к содержанию биогенных веществ в очищенных сточных водах, что нередко предполагает помимо основной биологической очистки использование доочистки. В последние годы большое внимание уделяется разработкам биогидробиотического способа очистки или доочистки сточных вод [1-6]. Преимущественные особенности данного способа заключаются в отсутствии значительных затрат на строительство и эксплуатацию сооружений, удаление загрязняющих веществ без применения сложных технологий, а использование макрофитов, полностью погруженных в воду, устраняет проблему использования растений в зимний период.

Известно, что качество воды в процессе ее очистки макрофитами регулируется не только фильтрационными свойствами высших водных растений (ВВР), их способностью поглощать биогенные элементы, но и их возможностью служить нагрузкой, создавая в системах очистки условия, аналогичные реактору с прикрепленной биомассой, участвующей в процессах микробного окисления загрязняющих веществ [2, 3].

Цель данной работы заключалась в оценке возможности использования высших водных растений рода *Ceratophyllum* для доочистки от биогенных веществ сточных вод (СВ) после их предварительной очистки в биофильтре.

Т.В. Кирилина*

аспирант кафедры промышленной биотехнологии, Казанский государственный технологический университет

А.С. Сироткин,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной биотехнологии, Казанский государственный технологический университет

До Тхи Тху Ханг,

бакалавр кафедры промышленной биотехнологии, Казанский государственный технологический университет



Задачи исследования включали:

- ♦ анализ эффективности снижения концентрации соединений азота и фосфора в СВ в процессе их доочистки макрофитами в динамических и статических условиях эксперимента,
- ♦ выявление роли нитрифицирующего микробиоценоза в удалении соединений азота в системах очистки с высшими водными растениями,
- ♦ оценку степени адаптации выбранных макрофитов *Ceratophyllum demersum* и *Ceratophyllum submersum* к СВ.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования возможности доочистки коммунально-бытового стока от соединений азота и фосфора макрофитами предполагали использование ВВР растений на заключительном этапе технологической схемы обработки СВ.

* Адрес для корреспонденции: tvkirilina@mail.ru

В качестве ВВР были выбраны макрофиты – растения рода *Ceratophyllum*: роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* и роголистник светло-зеленый *Ceratophyllum submersum*. Роголистники относятся к полностью погруженным в воду растениям, встречающимся в природных условиях Среднего Поволжья.

ВВР помещались в 4-х-секционный проточный резервуар, разделенный перегородками, разработанный в биоинженерной лаборатории кафедры химической кибернетики Казанского государственного технологического университета под руководством доц. Мухачева С.Г. Последняя, 5-я секция резервуара служила накопительной емкостью, из которой вода удалялась в канализацию. Благодаря уменьшению высоты перегородок по ходу потока, вода последовательно перетекала из секции в секцию и контактировала с макрофитами (рис. 1).

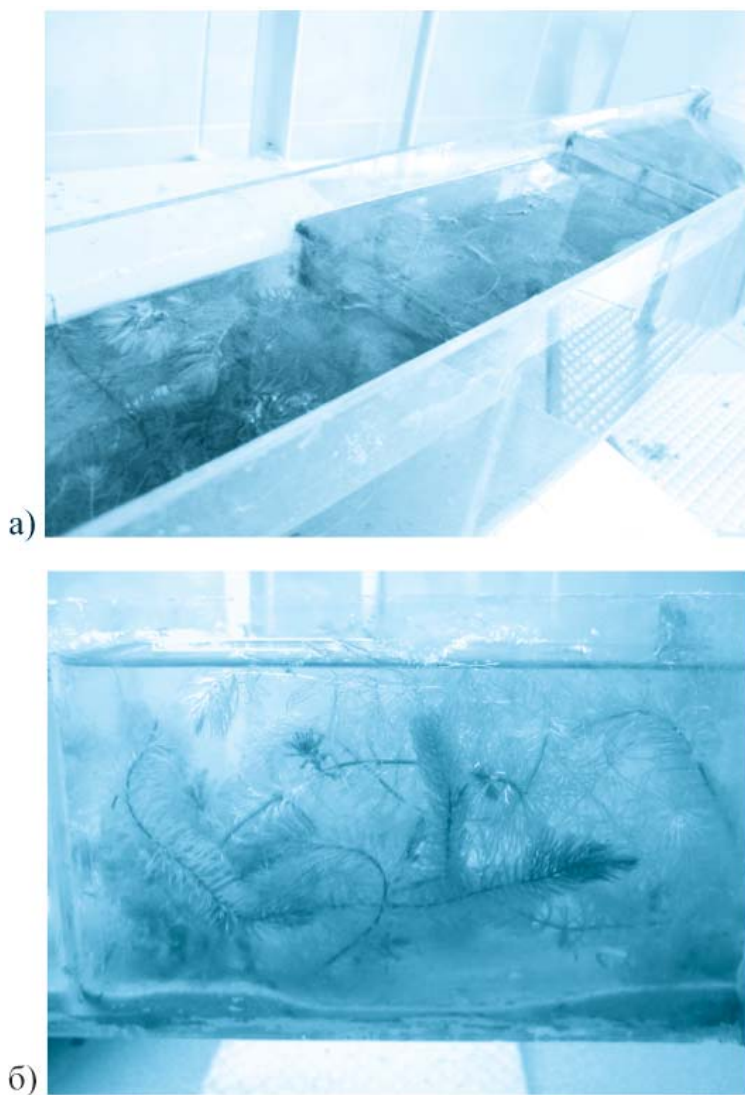


Рис. 1. Внешний вид системы доочистки сточных вод: а) секционированный резервуар с макрофитами; б) одна из секций резервуара.

Рабочий объем резервуара составлял 6,9 дм³, общая фитомасса (*Ceratophyllum demersum* и *Ceratophyllum submersum*) на начальный момент времени – 59,5 г. Плотность фитомассы в 1-й, 2-й, 3-й и 4-й секциях составляла 6,6 г/дм³, 6,5 г/дм³, 10,3 г/дм³ и 12,3 г/дм³, соответственно.

На протяжении 35 сут. экспериментальных исследований температура очищаемой воды изменялась в диапазоне от 21 до 26 °С. Доочистка воды макрофитами проводилась в условиях естественной фотопериодичности. В процессе экспериментальных исследований анализу подвергалась СВ, поступающая в систему доочистки с ВВР после стадии основной очистки в биофильтре. Состав поступающей воды был непостоянен, что связано с различными режимами работы и условиями эксплуатации биофильтра (табл. 1).

Таблица 1

Показатели сточных вод, поступающих на доочистку водными макрофитами

Гидрохимические показатели качества воды	Концентрация, мг/дм ³
ХПК	менее 40
аммонийный азот	не более 7,54
азот нитритов	0,5–8,3
азот нитратов	2,3–6,6
фосфаты	3,5–16,2

В процессе исследований изучали закономерности снижения концентрации биогенных веществ в воде. С 1 по 26 сут. эксперимента время пребывания СВ в емкости с растениями варьировалось в диапазоне от 8 до 9 час. Начиная с 27 сут. время пребывания воды в системе сократили до 6 ч. в связи с адаптацией макрофитов к СВ и отсутствием источников аммонийного азота в поступающем стоке.

Процесс доочистки контролировали по физико-химическим параметрам – концентрации аммонийного азота, азота нитритов, нитратов, фосфат-ионов, а также по приросту фитомассы растений и их общему состоянию.

Результаты и их обсуждение

Анализ изменения концентраций соединений азота в процессе непрерывной доочистки высшими водными растениями СВ, предварительно очищенных в биофильтре, был затруднен в связи с непостоянством состава воды, поступающей на доочистку (табл. 1). Однако результаты про-

Таблица 2

Изменение концентрации различных форм азота в сточных водах в процессе 35-сут. эксперимента доочистки их макрофитами

Время пребывания, сутки	8-9 ч.						6 ч	
	6	11	14	15	19	26	33	34
Кинетика концентрации аммонийного азота								
Поступающая вода	0,4	3,7	7,5	3,5	0,1	1,1	не обн.*	не обн.
Доочищенная вода	не обн.	0,2	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.	не обн.
Кинетика концентрации азота нитритов								
Поступающая вода	8,3	0,7	0,6	1,9	2,6	2,5	1,5	0,5
Доочищенная вода	3,6	5,3	3,3	3,3	не обн.	4,0	0,1	не обн.
Кинетика концентрации азота нитратов								
Поступающая вода	3,5	3,7	-	5,0	6,1	9,0	6,6	3,8
Доочищенная вода	1,7	2,7	-	5,6	6,4	8,7	10,4	7,5

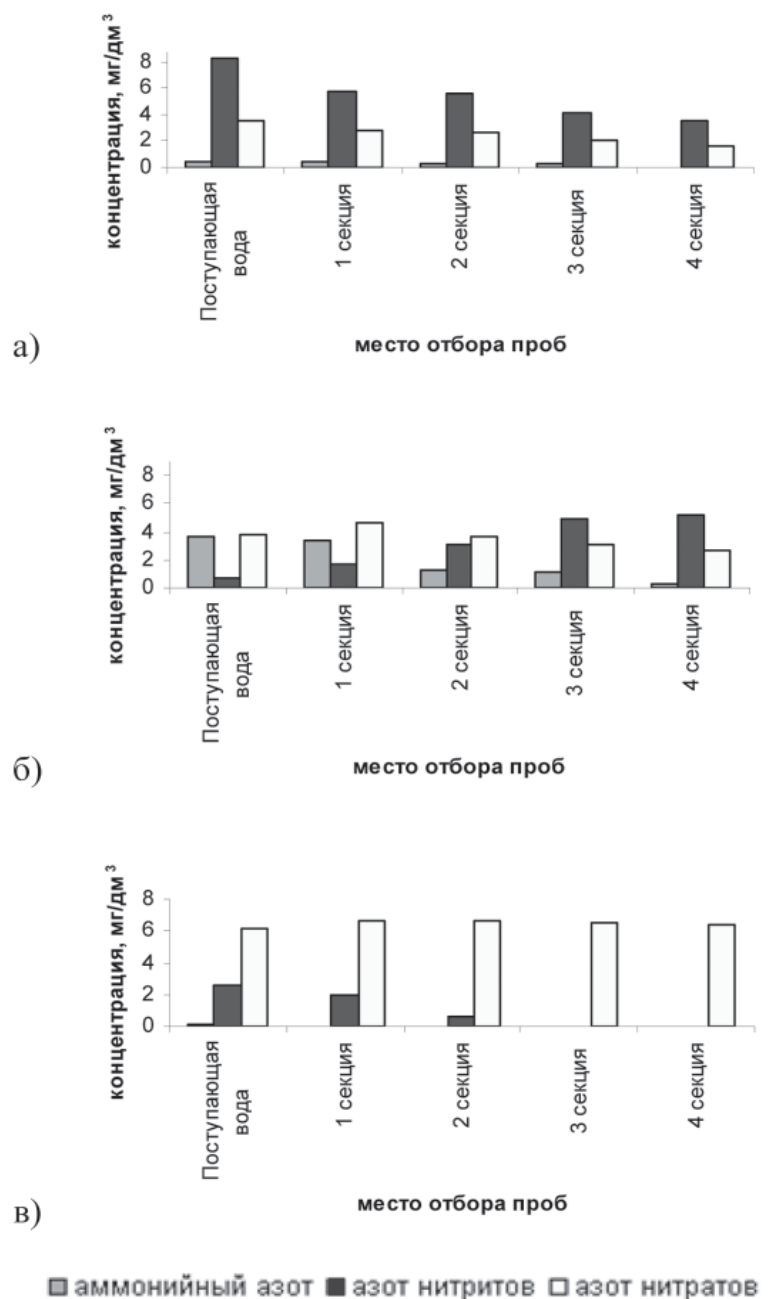
*не обн. – не обнаружено

веденных экспериментальных исследований позволили выявить определенные закономерности (табл. 2).

Согласно полученным экспериментальным данным, несмотря на изменение концентрации аммонийного азота в поступающей воде в широком диапазоне – от нуля до 7,5 мг/дм³, эффективность его удаления в процессе эксперимента составляла 99,5 % (табл. 2). Отмечено, что на 6, 19, 33 и 34 сут. процесса доочистки наблюдалось снижение концентрации азота нитритов в СВ, однако на протяжении других временных интервалов происходило ее увеличение. Следует уточнить, что повышение содержания азота нитритов наблюдалось в тех случаях, когда в поступающей воде содержался аммонийный азот, что, вероятно, было связано с микробным окислением ионов аммония в нитриты (табл. 2). Данный факт подтверждается литературными данными о возможности формирования на поверхности растений микробиоценоза, участвующего в протекании процесса нитрификации [2, 3].

Кинетика концентраций соединений азота на 6 сут. эксперимента при концентрации аммонийного азота в поступающей воде, равной 0,4 мг/дм³, демонстрировала снижение концентраций соединений всех форм азота (рис. 2а). Однако на 11 сут. процесса доочистки сточных вод ВВР снижение более высокой концентрации аммонийного азота в поступающей воде в процессе доочистки сопровождалось увеличением концентрации азота нитритов. Данный факт свидетельствовал о протекании первой стадии процесса нитрификации, а поглощение азота нитратов

Рис. 2. Кинетика концентрации азота на а) 6 сут., б) 11 сут. и в) 19 сут. эксперимента. →



макрофитами на данном этапе эксперимента превосходило процесс микробного окисления нитритов в нитраты (рис. 2б).

Обнаружено, что на 19 сут. экспериментальных исследований при незначительном содержании аммонийного азота в поступающей воде концентрация азота нитритов снижалась, а концентрация азота нитратов практически не изменялась (рис. 2в). Очевидно, в данном случае в процесс снижения концентрации азота вносили вклад и макрофиты, и нитрифицирующий микробиоценоз.

Следует отметить, что содержание растворенного в воде кислорода, образуемого в процессе фотосинтеза макрофитов, являлось достаточным для протекания обеих стадий процесса нитрификации (табл. 3) [7].

В результате определения концентрации фосфатов в СВ, пребывающей в системе очистки в течение 6-9 ч., было установлено ее снижение в среднем на 2,3 мг при начальной концентрации, изменяющейся в диапазоне от 3,0 мг/дм³ до 14,1 мг/дм³ (рис. 3). Однако на 11 сут. доочистки концентрация фосфатов уменьшилась с 16,2 мг в поступающей воде до 8,1 мг в 4-й секции емкости с макрофитами. Это могло быть связано со стимулированием накопления растениями биогенных элементов увеличением их концентрации в среде [6]. Максимальный вклад в удаление фосфатов вносила 3-я секция доочистки с начальной плотностью фитомассы 10,3 г/дм³, что соответствует литературным данным о зависимости эффективности поглощения фосфатов от густоты биомассы [6].

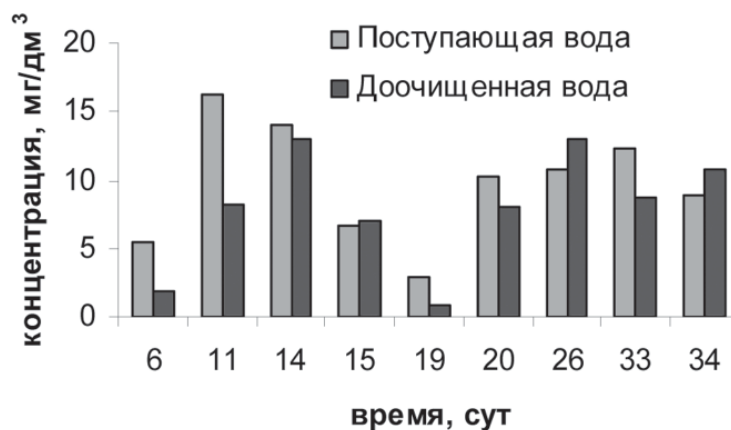


Рис. 3. Кинетика концентрации фосфатов в сточных водах в процессе 35-сут. эксперимента доочистки их макрофитами.

Таблица 3

Концентрация растворенного кислорода в системе доочистки сточных вод макрофитами (разовые измерения)

Секция	1	2	3	4
Концентрация кислорода, мг/дм ³	2,7	3,1	2,8	3,3

Таблица 4

Посекционное поглощение биогенных элементов *Ceratophyllum demersum* и *Ceratophyllum submersum*, мг/сут.

Биогенные элементы	Секция (плотность фитомассы, г/дм ³)			
	1 (6,6)	2 (6,5)	3 (10,3)	4 (12,3)
N-NO ₂	0,9	не менее 0,6	не менее 0,5	не менее 0,2
N-NO ₃	3,1	4,7	3,8	4,1
PO ₄ ³⁻	1,0	0,8	1,1	1,5



На заключительном этапе исследований оценивали закономерности поглощения соединений азота и фосфора в статических условиях эксперимента. Посекционное изменение концентраций биогенных элементов в воде за 24 ч. представлено в *табл. 4*.

Согласно экспериментальным данным с увеличением плотности фитомассы растений не отмечено повышения эффективности удаления соединений азота (*рис. 3*) [1]. В статических условиях эксперимента наблюдалась наибольшая эффективность снижения концентрации азота нитратов. Сопоставление способности роголистника к выведению биогенных веществ из СВ в статических условиях демонстрирует меньшее снижение концентрации фосфатов, чем в динамических условиях эксперимента. Вероятно, это связано с тем, что в ночные часы процессы поглощения резко замедляются, а в ряде случаев наблюдается преобладание процессов выде-

ления отдельных элементов в воду над их поглощением [8].

Как показали наблюдения за ВВР, роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* не только адаптировался к СВ, но и продолжал расти; длина стебля за период проведения опыта увеличилась в среднем на 21,9 % (*рис. 4а*). Состояние роголистника светло-зеленого *Ceratophyllum submersum* оценивалось как удовлетворительное (*рис. 4б*).

Заключение

Экспериментально исследованы особенности выведения биогенных веществ из СВ с помощью *Ceratophyllum demersum* и *Ceratophyllum submersum*. В процессе исследований было отмечено снижение концентраций азота и фосфора.

На протяжении 35-сут. эксперимента доочистки макрофитами СВ, время пребывания которых в системе изменяется в диапазоне от 6 до 9 ч., эффективность удаления аммонийного азота составляла 99,5 %. В статических условиях очистки эффективность поглощения азота нитратов составляла в среднем 3,9 мг/сут. при плотности фитомассы 8,7 г/дм³, а в динамических условиях эксперимента снижение концентрации азота нитратов происходило лишь до адаптации макрофитов к СВ, после чего наблюдался прирост концентрации нитратов в результате деятельности нитрифицирующего микробиоценоза в сообществе с водными растениями.

В процессе экспериментальных исследований эффективность удаления фосфатов изменялась в диапазоне от 7,7 до 72,7 % при их концентрации в поступающей воде от 14,1 мг/дм³ до 2,8 мг/дм³, соответственно.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают возможность эффективного использования роголистника для доочистки СВ от основных биогенных веществ.

Литература

1. Вайсман Я.И. Использование водных растений для доочистки сточных вод / Я.И. Вайсман, Л.В. Рудакова, Е.В. Калинина // Экология и промышленность России, 2006. № 11. С. 9-11.
2. Савельева Л.С. Очистка сточных вод на биоплато / Л.С. Савельева, А.Н. Эпов // Экология и промышленность России, 2000. № 8. С. 26-28.
3. Кравец В.В. Высшая водная растительность как элемент очистки промышленных сточных вод / В.В. Кравец, Л.Б. Бухгалтер,

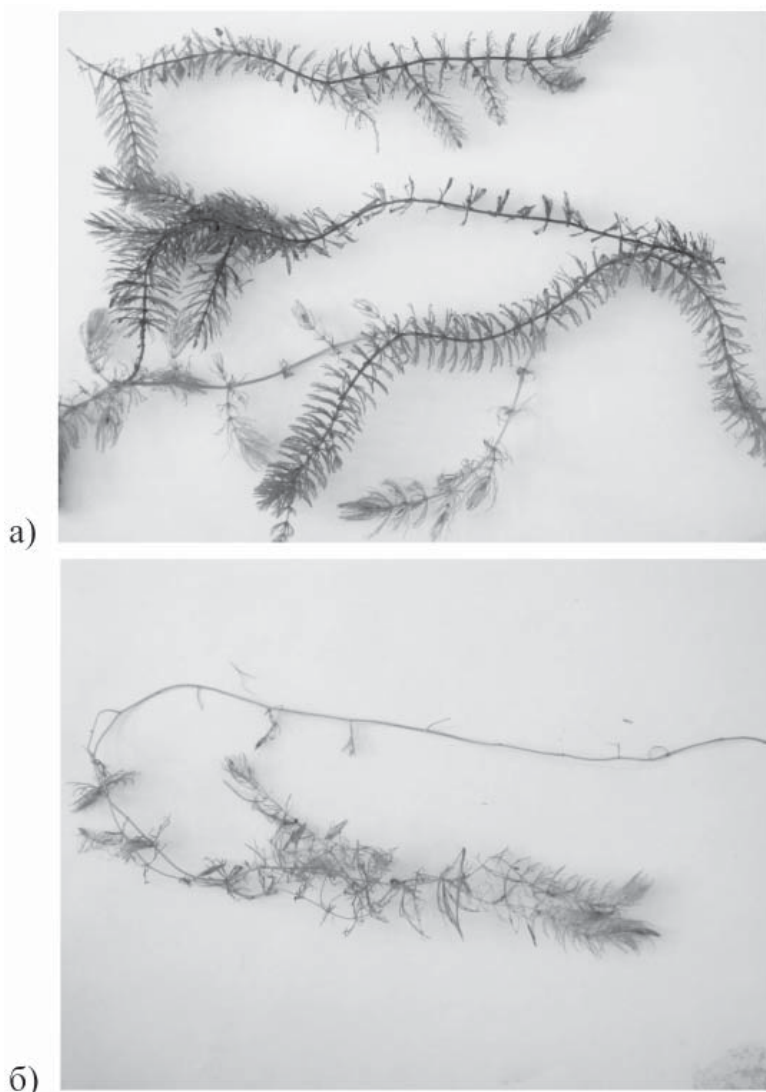


Рис. 4. Внешний вид макрофитов на 35 сут. эксперимента: а) роголистник темно-зеленый, б) роголистник светло-зеленый.



А.П. Акользин, Б.Л. Бухгалтер // Экология и промышленность России, 1999. № 8. С. 20-23.

4. Крот Ю.Г. Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод // Гидробиологический журнал, 2006. Т. 42. № 1. С. 47-58.

Ключевые слова:

коммунально-бытовые сточные воды, доочистка, биогенные вещества, высшие водные растения, нитрификация

5. Калайда М.Л. Биоплато как способ доочистки дренажных вод города и сточных вод промышленных предприятий / М.Л. Калайда, Л.К. Говоркова, С.Д. Загустина, М.Ф. Хамитова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2009. № 7-8. С. 123-129.

6. Диренко А.А. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока / А.А. Диренко, А.А. Кнуса, Е.М. Коцарь // С.О.К. 2006. № 5. Электронный ресурс: <http://www.c-o-k.ru/showtext/?id=1331&from=online¶ms=num%3D5>.

7. Сидоренко О.Д. Микробиология / О.Д. Сидоренко, Е.Г. Борисенко, А.А. Ванькова, Л.И. Войно. М.: ИНФРА-М, 2005. 287 с.

8. Эйнон Л.О. Соотношение поглощения фосфора, азота и углерода водными макрофитами // Водные ресурсы, 1990. № 5. С. 85-92.



T.V. Kirilina, A.S. Sirotkin, Do Thi Thu Hang

WASTEWATER POST-TREATMENT FROM NITROGEN AND PHOSPHORUS COMPOUNDS BY MACROVEGETATION

Possibility of using water plants of *Ceratophyllum* stem for domestic wastewater post-treatment (after biofilter treatment) from biogenic substances has been estimated. There

have been carried out experimental studies of peculiarities of nitrogen and phosphorus compound removing from wastewater by macrophytic assemblage and microbiocoenosis.

Key words: domestic wastewater, post-treatment, biogenic substances, water plants, nitrification