УДК 574.635: 581.526.3+504.738

СЕЗОННАЯ АККЛИМАТИЗАЦИЯ ВОДНОГО ГИАЦИНТА ДЛЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ МАЛОГО ВОДОТОКА ГОРОДА НИЖНЕГО НОВГОРОДА

Макеев И.С., Коротаева М.И., Голикова А.И.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, e-mail: igmakeyev@mail.ru

Изучены возможности использования водного гиацинта для биоремедиации малого водотока на урбанизированной территории г. Нижнего Новгорода. Описаны сообщества водных макрофитов запруженного участка малой реки. Показана возможность акклиматизации и быстрого вегетативного размножения водного гиацинта в летний сезон *in situ* в условиях гумидного климата умеренной зоны. Оценены прирост фитомассы и листовой поверхности, скорость роста и вегетативного размножения. Условия запруженного участка малой реки с высоким уровнем хозяйственно-бытового загрязнения и повышенной гумификацией воды соответствуют экологическим потребностям водного гиацинта. Распространение водного гиацинта по акватории в виде биопонтонов активизирует процессы биологического самоочищения. Основной вклад в самоочищение водной массы малой реки вносят аборигенные сообщества гидрофитов: кубышки желтой, рдеста плавающего, многокоренника и тростника.

Ключевые слова: водные макрофиты, водный гиацинт, Eichhornia crassipes, акклиматизация, фиторемедиация, рост, вегетативное размножение, биомасса, чистая первичная продукция, самоочищение

SEASONAL ACCLIMATIZATION OF WATER HYACINTH IN A SMALL WATER-COURSE OF NIZHNY NOVGOROD FOR PHYTOREMEDIATION

Makeev I.S., Korotaeva M.I., Golikova A.I.

Nizhni Novgorod Lobachevsky State University, Nizhny Novgorod, e-mail: igmakeyev@mail.ru

Studied the conditions for the use of water hyacinth for bioremediation of small watercourse on the urban area of Nizhny Novgorod city. The communities of aquatic macrophytes in pond area of a small river are examined Confirmed the ability of acclimatization and rapid cloning of water hyacinth in the summer in situ under conditions of a humid climate of the temperate zone. The evaluated increase of biomass and leaf area, growth rate and vegetative reproduction. Pond conditions plot of a small river with high levels of domestic pollution and increased formation of water to meet ecological needs of water hyacinth. The spread of water hyacinth in the waters in the form of biopontoons activates the processes of biological self-purification. The main contribution to natural purification of water mass contribute a small river plant aboriginal communities of hydrophytes: potbelly (Nuphar lutea), pondweed (Potamogeton natans), duckweed (Spirodela polyrrhiza) and cane (Phragmites australis).

Keywords: aquatic macrophytes, water hyacinth, Eichhornia crassipes, phytoremediation, growth, reproduction, biomass, net primary productivity, self-purification

Малые водоемы и водотоки мегаполиса испытывают многофакторное антропогенное воздействие в виде промышленного, транспортного и коммунально-бытового загрязнения, а также изменений гидрологического режима в результате нарушения природного ландшафта водосборных территорий. При этом городские водоемы используются населением как рекреационные объекты и служат важным компонентом экологического каркаса города. Поэтому оздоровление (ремедиация) их экосистем является актуальной и практически значимой задачей современной урбоэкологии и прикладной гидроэкологии [15].

Одним из путей решения этой задачи является использование биоремедиационного потенциала высшей водной растительности, активно участвующей в процессах биологического самоочищения водоемов. Многие водные макрофиты в комплексе с биопленками микроорганизмов способны достаточно эффективно поглощать и утилизировать комплекс загрязняющих веществ, таких как биогенные элементы, тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды и синтетически поверхностно-активные вещества [2, 4, 7–11, 13, 14, 16].

Высшие водные растения выполняют следующие значимые санитарно-экологические функции в водоемах:

– газовую (насыщают воду кислородом и поглощают углекислоту при фотосинтезе);

– окислительную (окисляют органические вещества, способствуя их биодеструкции);

– седиментационную (способствуют улавливанию и осаждению взвешенных частиц);

– поглотительно-аккумуляционную (поглощают и ассимилируют биогенные элементы, тяжелые металлы и некоторые органические вещества);

– детоксикационную (иммобилизуют и преобразуют токсиканты в нетоксичные);

– экзометаболическую (образуют и выделяют в воду биологически активные вещества, в том числе фитонциды);

– илонакопительную (образуют детрит и способствуют накоплению органических веществ в донных отложениях);

– экотопическую (создают субстраты, убежища и местообитания для эпифитонных, планктонных, бентосных и нектонных видов) [6; дополнения авторов].

Одним из эффективных способов очистки загрязненных природных водоемов, а также доочистки сточных вод в современных экономических условиях является создание болотных экосистем и биологических прудов с конструированием полос биоплато с околоводной, прибрежно-водной и погруженной высшей водной растительностью («сконструированные ветланды»). Широко используются биотехнические сооружения из камыша с тростником для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод и для очистки загрязненного поверхностного стока [1, 14].

В Ирландии (г. Вильямстоун) успешно эксплуатируется система совместной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод (72%) и поверхностного стока (28%), сконструированная в виде трех мелководных бассейнов, два из которых засажены камышом и рогозом, а третья представляет собой биопруд с плавающими водными растениями: водным гиацинтом и ряской. Степень очищения воды составляет в среднем: 48% по БПК, 83% по взвешенным веществам, 51% по общему азоту, 13% по общему фосфору, 99% по патогенным микроорганизмам [7].

Поскольку загрязнение поверхностных водоемов в мегаполисе носит комплексный характер, обусловливающий сложный химический состав и хроническую токсичность, необходим подбор видов водных макрофитов, способных при этом расти, размножаться и эффективно очищать воду. К числу таких растений, устойчивых к промышленному загрязнению, относится южноамериканский гидрофит – водный гиацинт (*Eichhornia crassipes Martius*) [5, 8, 13].

Экологические особенности водного гиацинта следующие:

– светолюбивый (> 1 клк);

– теплолюбивый (рост и размножение: +16–33°C, оптимум: +25–29°C, гибель: +4°C);

– размножение вегетативное с очень высокой скоростью (до 70 раметов в месяц);

– способность расти и размножаться в воде с высокой концентрацией токсикантов и биогенных элементов, вызывающих гибель других водных растений;

– высокая эффективность поглощения и биоаккумуляции токсикантов и биогенов;

– выделение в воду биологически активных веществ, ингибирующих рост микроводорослей и патогенных бактерий [5, 8, 12, 17].

Эйхорния ускоряет процесс бактериального разложения нефтепродуктов и органических токсикантов (фенолов, хинонов и др.) за счет выделения корневой системой стимуляторов роста нефте- и фенолокисляющих бактерий [4].

В средней полосе России водный гиацинт используется на биологических очистных сооружениях в условиях искусственного подогрева. Его использование для фиторемедиации ограничено летним периодом с температурой воды не ниже +15°C. Гибель растения при температуре воды ниже +5°C обусловливает невозможность образования гиацинтом в открытых водоемах умеренной зоны постоянных популяций, что гарантирует экологическую безопасность его сезонной акклиматизации в природные водоемы для биоремедиации [8].

Цель работы: оценить параметры роста и размножения водного гиацинта в условиях акклиматизации в летний сезон на малой реке Левинке г. Нижнего Новгорода.

Этапы выполнения работы включали следующее:

1) выбор контрольных станций с разными биотопическими условиями и составом сообществ водной растительности;

2) высадка в водоем водного гиацинта на экспериментальной площадке;

3) оценка количественного развития аборигенной водной растительности;

4) оценка скорости роста и размножения акклиматизированного водного гиацинта.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проводились в июне – июле 2015 г. на участке среднего течения малой реки Левинки на семи контрольных станциях (рисунок, табл. 1).

Река Левинка – правый приток р. Волги – протекает по густонаселённой территории трёх районов города. Имеет площадь водосбора 11,6 км^2 и длину 6,1 км. На расстоянии 3,2 км от устья в р. Левинку с левого берега впадает главный приток – р. Параша, имеющая длину 7,5 км и сопоставимый объем стока. Исследуемые малые реки испытывают значительное хозяйственно-бытовое и автотранспортное загрязнение,

а река Параша – также зоогенное эвтрофирование от зоопарка. К числу их основных загрязняющих веществ относятся: железо, марганец, цинк, медь, аммоний, фосфаты, нефтепродукты, СПАВ, легкоокисляемые органические вещества [3].

Скорость течения на речном участке реки (ст. 2) в июне – июле составляла 0,3–0,35 м/с, а на прудовом (ст. 3–7) – < 0,1–0,2 м/с. Температура воды варьировала от 18 до 23 °С. Глубина реки по станциям изменялась от 0,5 до 1,5 м, в среднем составила 0,83 ± 0,15 м. Прозрачность воды по белому диску была низкой: в среднем: 0,58 ± 0,05, варьировала от 0,37 до 0,77 м. Содержание кислорода в воде днем варьировала от 6,9 до 7,6 мг/л [15].

Для описания водной растительности исследуемого участка р. Левинки использовался метод пробных гидроботанических площадок в выделенных биотопах с относительно однородными экологическими условиями. В зависимости от площади однородного биотопа гидроботанические описания проводили на трех или пяти площадках по 4 м^2, расположенных в шахматном порядке на акватории 100 м^2. Определяли видовой состав, баллы обилия по шкале Друде и процент проективного покрытия вида, выделяли виды-доминанты и субдоминанты гидрофитов.

Результаты описания сообществ водных макрофитов исследуемого участка малой реки представлены в табл. 1.

В устьевом участке реки Параши (ст. 1) высшая водная растительность отсутствовала. В реке Левинке в районе впадения р. Параши (ст. 2) на мелководном расширении русла наблюдалось массовое развитие кубышки желтой и многокоренника. В начале прудового расширения реки Левинки (ст. 3) значительную часть водного зеркала занимала ассоциация тростника обыкновенного (10 × 8,5 м), выдающаяся с правого берега более чем на середину русла. Кубышка жёлтая и белокрыльник болотный встречались редко. Протяженный участок ст. 5 (ширина около 21,5 м) характеризовался доминированием рдеста плавающего (около 80 %) вдоль правого берега. Станция 6 оконтурена полосой плавающей растительности из рдеста плавающего и кубышки жёлтой, а также присутствием рдеста туполистного и рдеста нитевидного. Соотношение покрытия рдеста плавающего и кубышки жёлтой 70/30 %. На приплотинном мелководном участке (ст. 7) водная поверхность обильно покрыта кубышкой жёлтой. Встречаются небольшие вкрапления пузырчатки, манника наплывающего, стрелолиста обыкновенного.

Большинство видов водных макрофитов, выявленных на участке реки, относятся к эвтрофным β-мезосапробам, индикаторам стоячих и малопроточных вод. Интересным исключением был *Potamogeton filiformis* Pers. (рдест нитевидный), который обычно приурочен к олиготрофным водоёмам и водотокам с песчаным или илистым дном.

Таким образом, основной вклад в самоочищение водной массы прудового участка реки вносят аборигенные сообщества гидрофитов: кубышки желтой, рдеста плавающего, многокоренника и тростника.

Высшая водная растительность исследуемого участка реки Левинки имела мозаичный характер, обусловленный как различной скоростью течения и глубиной, так и различием по уровню антропогенной нагрузки. Всего обнаружено 13 видов гидрофитов и гидатофитов.

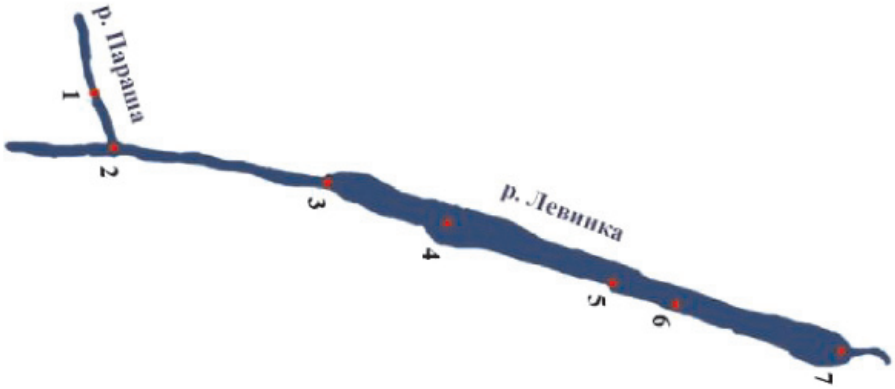

Схема расположения станций отбора проб на реке Левинке

Таблица 1

Развитие высшей водной растительности в исследуемых биотопах реки Левинки

Номер станции	Биотоп	Виды макрофитов	Проективное покрытие, %		Балл обилия по Друде
			общее	отдельных видов	
2	устье р. Параши с доминированием кубышки жёлтой	*Calla palustris* L.	60	2,0	1
		Hydrocharis morsus-ranae L.		0,5	1
		Nuphar lutea (L.) Sm.		50,0	6
		Spirodela polyrrhiza (L.) *Schleid.*		6,5	3
3	начало прудового расширения с доминированием тростника обыкновенного	*Calla palustris* L.	75	1,0	+
		Nuphar lutea (L.) Sm.		1,0	+
		Phragmites australis (Can.)		73,0	6
5	участок прудового расширения у правого берега с доминирование рдеста плавающего	*Nuphar lutea* (L.) Sm.	54	1,5	+
		Potamogeton natans L.		45,0	6
		Spirodela polyrrhiza (L.) Schleid.		1,5	2
		Utricularia sp.		5,5	3
6	участок прудового расширения у правого берега с тремя видами рдеста	*Nuphar lutea* (L.) Sm.	52	16,0	3
		Potamogeton filiformis Pers.		0,1	2
		Potamogeton natans L.		35,0	4
		Potamogeton obtusifolius Mert.		0,3	3
7	участок выше коллектора под автодорогой с доминированием кубышки жёлтой	*Ceratophyllum demersum* L.	83	0,2	+
		Elodea canadensis Michx.		0,1	+
		Glyceria fluitans (L.) R.Br.		1,0	2
		Nuphar lutea (L.) Sm.		70,0	6
		Potamogeton natans L.		6,0	3
		Sagittaria sagittifolia L.		3,0	3
		Spirodela polyrrhiza (L.) Schleid		1,0	1
		Utricularia sp.		2,0	2

На ст. 4 реки Левинки 15.06.2015 была заложена экспериментальная площадка в виде заякоренного, плавающего на поверхности пластикового обруча диаметром 1,0 м. На площадке были высажены 6 экземпляров водного гиацинта массой от 2 до 34 г (табл. 2). Каждое растение предварительно было описано по следующим показателям: количество листьев, длина черешка листа, длина и ширина листовой пластинки, длина основного и дочерних побегов (розеток), средняя и максимальная длина корней, биомасса. Повторные наблюдения проводили 30.06. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Динамика морфометрических показателей и биомассы материнских растений водного гиацинта на экспериментальной площадке реки Левинки за период 15.06–30.06.2015 г.

Номер экземпляра	Дочерние розетки		Листья, количество		Листовая поверхность (см^2)		Биомасса (г)		Прирост биомассы (г)	Удельная продукция, %
Даты	15.06	30.06	15.06	30.06	15.06	30.06	15.06	30.06		
1	1	5	6	10	15456	19264	33,78	106,6	72,82	215,57
2	1	4	6	12	12871	14587	28,05	52,0	23,95	85,38
3	1	3	7	12	7942	12035	16,71	43,8	27,09	162,12
4	1	3	7	10	7010	10369	14,47	40,53	26,06	180,10
5	1	3	7	8	6065	8541	11,15	38,03	26,88	241,08
6	0	0	5	8	1191	4390	1,93	9,42	7,49	388,08
Итого	5	18	38	60	50534	69186	106,09	290,38	184,29	212,05
Прирост	13		22		18652		184,29			

Таблица 3

Морфометрические и весовые показатели дочерних растений водного гиацинта на экспериментальной площадке реки Левинки 30.06.2015 г.

Номер экземпляра	Дочерние розетки	Количество листьев	Листовая поверхность (см^2)	Биомасса (г)
7	3	7	3282	16,10
8	3	7	4038	14,52
9	3	6	4539	11,87
10	1	4	1695	4,95
11	1	3	1608	5,87
12	0	3	1042	4,61
Итого	11	30	16204	57,92

Полученные результаты свидетельствуют об успешной акклиматизации водного гиацинта в реке Левинке во 2-й половине июня, когда, несмотря на длинный световой день, наблюдался активный рост и вегетативное размножение. Из высаженных шести материнских растений с пяти дочерними розетками (экземпляры № 1–6) образовалось 13 новых розеток и 6 самостоятельных раметов с 11 дочерними розетками (экземпляры № 7-12). Прирост листовой фотосинтетической поверхности составил в целом 3,486 м^2 (69 %) за счет роста начальных 38 и развития 52 новых листьев. Чистая первичная продукция составила 242,2 г, а удельная продукция (П/Б-показатель) – 212 %.

Таким образом, летняя акклиматизация водного гиацинта в малой реке Левинке г. Нижнего Новгорода показала положительные результаты по скорости роста и размножения, что позволяет сделать вывод о возможности его использования для биоремедиации загрязненных малых водоемов и водотоков средней полосы России при условии защиты экспериментальных площадок.

Список литературы

1. Борзенков А.А., Кумани М.В., Лукьянчиков Д.И. Применение биологических прудов для доочистки сточных вод в Курской области // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2010 – № 1. – С. 94–101.

2. Борисова Г.Г., Чукина Н.В., Малева М.Г. Адаптивный потенциал высших водных растений с разной аккумулятивной способностью // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 3. – С. 104–114.

3. Гелашвили Д.Б., Копосов Е.В., Лаптев ЛА. Экология Нижнего Новгорода: монография; под общ. Ред. Д.Б. Гелашвили – Н. Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2008 – С. 152–153.

4. Гоготов И.Н. Аккумуляция ионов металлов и деградация поллютантов микроорганизмами и их консорциумами с водными растениями // Экология промышленного производства. – 2005. – № 2. – С. 33–37.

5. Горбунова С. Ю. Использование водного гиацинта Eichornia crassipes для биологической доочистки сточных вод // Экология моря. – 2009. – Вып. 78. – С. 40–43.

6. Дикиёва Д.М., Петрова И.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях // Гидробиологические процессы в водоемах / под ред. И.М. Распопова. – Л.: Наука, 1983. – С. 107–213.

7. Диренко А.А., Кнуса А.В., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике доочистки сточных вод и поверхностного стока // Водоочистка. – 2006. – № 3. – С. 70–73.

8. Дмитриев А.Г., Рыженко Б.Ф., Змиевец Ю.Ф., Сокол К.Г. Технология биологической очистки и доочистки малых рек, водоемов и стоков с помощью эйхорнии // Экология и промышленность России. –1998. – № 4. – С. 8–11.

9. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н. Очистка воды методами фитотехнологий // Водоочистка. 2015. – № 5–6. – С. 66–70.

10. Калайда М.Л. Доочистка производственных сточных вод с помощью высших водных растений // Экология и промышленность России. – 2010. – № 3. – С. 33–35.

11. Куок Ч.Х., Мельник И.В. Водные макрофиты как биосорбенты для удаления ионов тяжелых металлов из воды // Вода: химия и экология. – 2012. – № 12 (54). – С. 130–134.

12. Макеев И.С., Горбунова С.Ю., Коротаева М.И.: Влияние освещенности на рост, размножение и ассимиляционные характеристики водного гиацинта // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2015. – № 6. – URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=23418 (дата обращения: 29.12.2015).

13. Минаева О.М., Акимова Е.Е., Минаев К.М., Семенов С.Ю., Писарчук А.Д. Поглощение ряда тяжелых металлов из водных растворов растениями водного гиацинта (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) // Вестник Томского гос. ун-та. Серия: Биология. – 2009. – № 4. – С. 106–111.

14. Сивкова Е.Е., Семёнов С.Ю. Использование технологии «constructed wetlands» для очистки сточных вод малых населённых пунктов и предприятий // Вестник Томского государственного университета // Биология. – 2010. – № 4 (12). – С. 123–130.

15. Шурганова Г.В., Макеев И.С., Гаврилко Д.Е., Голикова А.И. Участие зоопланктона в самоочищении малого водотока г. Нижнего Новгорода // Современные проблемы науки и образования (электронный журнал). – 2015. – № 6. – С. Science-education.ru/130-23563.

16. Agunbiade F.O., Olu-Owolabi B.I., Adebowale K.O. Phytoremediation potential of Eichornia crassipes in metal-contaminated coastal water // Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100, № 19. – P. 4521–4526.

17. Shanab Sanaa M. M., Shalaby Emad A., Lightfoot David A., El-Shemy Hany A., Allelopathic Effects of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) // PLOS One. – 2010 Oct 8; 5(10).DOI10.1371/journal.pone.0013200.