

УДК 574.21 + 574.24 + 574.55 + 581.52

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ *HYDROCHARIS MORSUS-RANAE* L. (СЕМ. *HYDROCHARITACEAE* JUSS.)

Алябышева Е.А.

ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола, e-mail: e_alab@mail.ru

Работа посвящена изучению влияния сточных вод на состояние урбанизированного поверхностного водоема, а также особенности жизнедеятельности *Hydrocharis morsus-ranae* L. (сем. *Hydrocharitaceae* Juss.). Проведенный анализ физико-химических показателей воды р. Малая Кокшага в четырех створах выявил некоторые закономерности: высокое содержание аммонийного азота приводит к повышению значения водородного показателя, который в свою очередь определяет уровень нитритного и нитратного азота, содержание которых также зависит и от концентрации растворенного кислорода. В ходе работы было выявлено, что при увеличении рекреационной нагрузки на поверхностный водоем уменьшаются длина и ширина листовых пластинок, площадь и масса листьев, а также значения удельной поверхностной плотности листьев у виргинильных растений *Hydrocharis morsus-ranae* L., что свидетельствует о нарушении ростовых корреляций. В результате загрязнения урбанизированного водоема коммунально-бытовыми и промышленными сточными водами интенсивность углеводного обмена снижается, изменяется содержание моно-, ди- и полисахаридов в растительных тканях гидрофита.

Ключевые слова: сточные воды, урбанизированный водоем, химический состав воды, биоиндикация, *Hydrocharis morsus-ranae* L., продукционный процесс

INFLUENCE OF CONDITIONS OF GROWTH ON PRODUCTIONAL PROCESSES OF *HYDROCHARIS MORSUS-RANAE* L.

Aljabysheva E.A.

Mari state university, Ioshkar Ola, e-mail: e_alab@mail.ru

Work is devoted to studying of influence of sewage on a condition of the urbanized reservoir, and also feature of activity of *Hydrocharis morsus-ranae* L. (this. *Hydrocharitaceae* Juss.). During carrying out the analysis of physical and chemical indexes of water the following regularities were revealed: the high content of ammoniyny nitrogen leads to value increase pH. pH defines level of the nitrite and nitric nitrogen which contents depends and on concentration of the dissolved oxygen. At increase in recreational loading at a reservoir length and width of sheet plates, the area and mass of leaves and also values of a specific surface density of leaves at young individuals of *Hydrocharis morsus-ranae* L. decrease. That is that growth correlations are broken. As a result of pollution of the urbanized reservoir by household and production sewage intensity of carbohydrate metabolism decreases, increases the maintenance of monosaccharides, level of disaccharides and polysaccharides decreases.

Keywords: the sewage, the urbanized reservoir, chemical composition of water, bioindication, *Hydrocharis morsus-ranae* L., productional process

Высшие водные растения различного таксономического ранга проявляют различную устойчивость к повышению содержания в водоеме биогенных и токсичных веществ, что приводит к усиленному развиту ценопопуляций одних видов и угнетению или исчезновению других. От содержания биогенных веществ в воде зависит существование гидрофитов, извлекающих биогены прямо из воды [3, 10]. Углеводный обмен тесным образом связан с липидным и белковым обменом. В условиях загрязнения среды ингибируются процессы синтеза веществ, замедляется рост растений [5, 8].

Целью нашей работы стало исследование морфометрических параметров ассимиляционных органов и особенностей синтеза углеводов у водокраса обыкновенного в условиях загрязнения водоема.

Материал и методы исследования

Река Малая Кокшага является левым притоком Волги и впадает в Куйбышевское водохранилище (длина 194 км, площадь бассейна 5160 км²). Ведущими источниками загрязнения водоема являются городские

хозяйственно-бытовые, промышленные и сточные воды, организованные и неорганизованные поверхностные стоки с урбанизированной территории [12].

Объектом нашего исследования стал водокрас обыкновенный (*Hydrocharis morsus-ranae* L.) из сем. *Hydrocharitaceae* Juss. Это однодомное стolonно-розеточное свободноплавающее травянистое растение с черешковыми листьями, адвентивными подузловыми корнями, раздельнопольными цветками: одиночными – женскими, мужскими – в цимозных соцветиях; гидрофит [1, 7].

Отбор проб воды и сборы *Hydrocharis morsus-ranae* L. проводили с мая по сентябрь 2009–2012 гг. в окрестностях г. Йошкар-Олы (Республика Марий Эл) в районе четырех створов, расположенных на р. Малая Кокшага: 1, 2, 3 – рекреационная зона (пляж ГАИ, пляж Центральный, микрорайон Ширяйково), 4 – промышленная зона (500 м ниже места сброса сточных вод с БОСК г. Йошкар-Олы).

Отбор проб воды осуществляли согласно ГОСТу Р 51592-2000. Заборы воды производили в чистые пластиковые бутылки емкостью 2 л, так чтобы под крышкой не оставалось свободного пространства. Пробы доставляли в лабораторию в день забора для выполнения аналитических исследований. Химический анализ проб воды осуществлялся в лабораториях ФГБОУ ВПО «Марийский государственный

университет» и ФГУ «Центр гигиены и санитарии по РМЭ» по общепринятым методикам. В пробах воды определяли следующие показатели: pH, содержание взвешенных веществ, минерализация, растворенный кислород, окисляемость, биологическое потребление кислорода (БПК₅), аммонийный, нитритный и нитратный азот, хлориды, сульфаты, общее железо [9].

В каждом местообитании были собраны виргинильные особи водокраса обыкновенного [1], у которых были проанализированы следующие параметры: длина и ширина листовой пластинки (см), масса (г) и площадь листа (см²), рассчитана удельная поверхностная площадь листа (УППЛ, г/дм²). Для определения содержания сахаров в листьях *Hydrocharis morsusrauae* L. был использован полумикрометод Ильина по схеме Кизеля [2].

Результаты обрабатывали статистически. Для анализа данных применяли однофакторный и двухфакторный дисперсионный, корреляционный анализ и регрессионный анализ [6].

Результаты исследования и их обсуждение

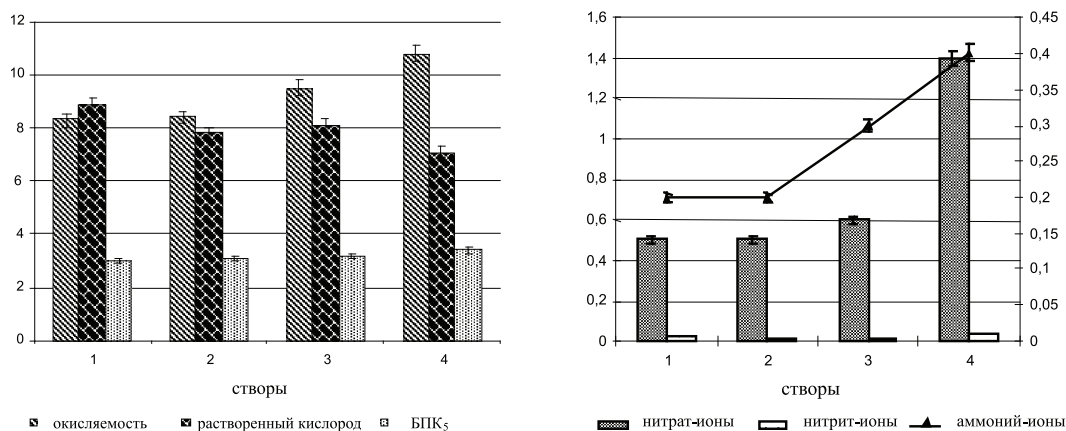
Проблема загрязнения водных объектов теснейшим образом связана с процессом индустриализации, способствовавшим возникновению такого мощного фактора загрязнения, как сточные воды. Санитарные показатели качества воды водных объектов служат надежным инструментом для осуществления экологического мониторинга [9, 12].

Природные воды могут иметь различную реакцию: от 4 до 10. Как показали результаты наших исследований, значения pH в воде р. Малая Кокшага во всех исследуемых створах незначительно изменялась от 7,3 до 7,5 и соответствовали гигиеническим нормативам.

Взвешенные твердые частицы поступают в урбанизированные водоемы со сточными водами, осадками, поверхностным стоком. Повышая мутность воды, являются наряду с присутствием в воде биогенов причиной эвтрофикации водоемов. Содержание взвешенных веществ в р. Малая Кокшага составило 5,6–

7,7 мг/дм³. Наименьшее значение параметра было отмечено в районе створов, расположенных в жилой зоне города. Наибольшим содержанием в воде взвешенных веществ характеризовался створ с высоким антропогенным загрязнением. Во всех исследуемых районах концентрация взвешенных веществ в воде превышала санитарно-гигиенические нормативы.

В поверхностных водах содержание растворенного кислорода варьируется от 0 до 14 мг/дм³. Дефицит кислорода чаще наблюдается в водных объектах с высокими концентрациями загрязняющих органических веществ и в эвтрофированных водоемах, содержащих большое количество биогенных и гумусовых веществ. В ходе наших исследований было отмечено, что в условно чистом местообитании (пляж ГАИ) значение данного показателя составило $8,9 \pm 0,71$ мг/дм³. Ниже по течению реки (Центральный пляж, микрорайон Ширяйково) содержание растворенного кислорода в воде снижалось. Наименьшее значение показателя было характерно для района 500 м ниже места сброса сточных вод с БОСК г. Йошкар-Олы ($7,1 \pm 0,4$ мг/дм³), что в 1,3 раза меньше, чем в контроле. Нами было отмечено, что по мере удаления от контроля значения окисляемости (ХПК) увеличивались: пляж ГАИ → Центральный пляж → микрорайон Ширяйково → ниже сброса БОСК и составляли 8,3–10,8 мгО₂/дм³. В условиях антропогенного загрязнения водоема наблюдалось увеличение уровня биологического потребления кислорода. Так, в воде в контрольном местообитании БПК₅ равнялось $3,0 \pm 0,4$ мгО₂/дм³. В умеренно загрязненных экотопах значения данного параметра незначительно увеличились. Наибольшее значение данного показателя было отмечено в районе БОСК г. Йошкар-Олы – $3,4 \pm 0,2$ О₂/дм³ (рисунок).



Изменение обобщенных показателей и содержания соединений азота в р. Малая Кокшага, мг/дм³.
 Обозначения: 1 – пляж ГАИ; 2 – Центральный пляж; 3 – микрорайон Ширяйково;
 4 – 500 м ниже места сброса сточных вод с БОСК

Содержание в воде хлоридов и сульфатов характеризует общую минерализацию водоемов. Кроме природных факторов, на общую минерализацию воды большое влияние оказывают промышленные сточные воды, городские ливневые стоки и т.п. В ходе работы было отмечено, что в районе ниже БОСК г. Йошкар-Олы концентрация хлоридов в урбанизированном водоеме незначительно увеличивалась и была на 10% больше, чем в контроле. Анализ полученных данных показал, что в условиях низкой рекреационной нагрузки на водоем содержание сульфатов было невысоким – 9,3–9,9 мг/дм³, однако в районах выпуска ливневой канализации (микрорайон Ширяйково) концентрация сульфат-ионов увеличивалась в 1,5 раза. Наибольшее содержание сульфатов было характерно для створа, расположенного 500 м ниже сброса сточных вод с БОСК г. Йошкар-Олы – 17,0 ± 3,21 мг/дм³.

Азотсодержащие вещества образуются в воде преимущественно в результате разложения мочевины и белков, попадающих в нее с бытовыми сточными водами. По наличию, количеству и соотношению в воде азотсодержащих соединений можно судить о степени и давности заражения воды продуктами жизнедеятельности человека. Повышенное присутствие в воде аммонийного, нитритного и нитратного азота может свидетельствовать о загрязненности бытовыми сточными водами. В ходе исследований нами было определено, что в контроле содержание аммонийного азота было наименьшим – 0,5 ± 0,04 мг/дм³. При возрастании рекреационной нагрузки на водоем содержание ионов аммония увеличивалось в 1,2 раза. Наибольшая концентрация ионов аммония была обнаружена в воде, отобранной в районе БОСК г. Йошкар-Олы – 1,4 ± 0,4 мг/дм³. Содержание нитритов в створах, расположенных выше места выпуска сточных вод в водоем, составило 0,01–0,02 мг/дм³. В створе в районе БОСК г. Йошкар-Олы концентрация нитрит-ионов в воде возрастала и была в 2,0 раза больше, чем в контроле. При поступлении ливневых стоков с урбанизированной территории (микрорайон Ширяйково) концентрация нитрат-ионов увеличивалась по сравнению с контролем в 1,5 раза. В створе, расположенном на 500 м ниже сброса сточных вод, содержание нитрат-ионов было наибольшим (в 2,0 раза больше, чем в контроле) (см. рисунок).

Содержание железа в пресных водоемах составляет десятые доли миллиграмма. Основной его формой в поверхностных водах являются комплексные соединения трехвалентных ионов железа с растворенными

неорганическими и органическими соединениями, главным образом с солями гуминовых кислот.

В пробах воды отобранных в контрольном створе содержание общего железа составило 0,56 ± 0,03 мг/дм³. При поступлении стоков с урбанизированной территории концентрация данного металла увеличивалась по сравнению с контролем в 1,2 раза. Содержание общего железа в пробах воды, отобранных створе, расположенном в районе БОСК составило 0,70 ± 0,081 мг/дм³. Нами было отмечено, что концентрация данного металла превышала в 1,8–2,3 раза ПДК.

Морфометрическая изменчивость вегетативных и генеративных органов является одним из показателей жизненного состояния особей определенной онтогенетической группы и обеспечивает компенсаторные механизмы для самоподдержания популяции. Морфологические адаптации обратимы и основаны на изменении обмена веществ, регуляции метаболизма и потенциальных возможностей организма в связи с изменением внешней среды. Наиболее распространенными морфометрическими параметрами, позволяющими оценить состояние ценопопуляций растений в биотопах с разными экологическими условиями, являются фитомасса и высота растения, длина метамера, соотношение числа надземных побегов, корней и т.д. [4].

Как показали результаты наших исследований, у виргинильных (v) особей *H. morsus-ranae*, произрастающих в районе БОСК г. Йошкар-Олы, длина и ширина листовых пластинок уменьшались по сравнению с контролем в 1,1–1,2 раза (t-критерий Стьюдента, $P = 0,00097$; $P = 0,02816$). Наибольшие значения площади и массы листьев были отмечены у v-растений, произрастающих в контроле (3,82 ± 0,092 см²; 0,057 ± 0,0031 г). При техногенном загрязнении значения данных параметров были в 1,2–2,2 раза меньше (t-критерий Стьюдента, $P = 0,01012$; $P = 0,04193$). Нами было обнаружено, что длина листовой пластинки у *H. morsus-ranae* зависит от концентрации общего железа в воде р. Малая Кокшага: уравнение линейной регрессии имеет вид: $y = 3,441 - 1,592x$; угол наклона прямой значимо отличается от 0 ($P = 0,0377$). Кроме того, масса листьев у виргинильных особей модельного вида также зависела от концентрации Fe²⁺ и Fe³⁺ уравнение линейной регрессии имеет вид: $y = 0,203 - 0,259x$; угол наклона прямой значимо отличается от 0 ($P = 0,025$).

Изменение основных относительных параметров ассимилирующей поверхности удельной поверхностной плотности листа,

отношение площади листьев к массе целого растения, отношение массы листьев к массе целого растения – может свидетельствовать о нарушении ростовых корреляций, что является одним из признаков, характеризующих уровень стресса [5, 11]. В ходе работы нами было отмечено, что в условиях загрязнения (500 м ниже сброса сточных вод) значения удельной поверхностной площади листьев (УППЛ) уменьшались в 1,8 раза по сравнению с контролем (1,5–1,6 г/дм²).

Углеводы являются основными компонентами экономически важных акцепторных органов. В основном именно их содержание количественно и качественно определяет

продуктивность растений [8]. Как показали результаты наших исследований, наименьшая концентрация моносахаридов была обнаружена в листьях *H. morsus-ranae* в условиях загрязнения водоема (в 1,8 раза меньше, чем в контроле). Снижение содержания дисахаридов в ассимиляционных органах модельного вида происходило следующим образом: условно чистое местообитание → умеренно загрязненное местообитание → загрязненное местообитание. В условиях загрязнения реки содержание сахарозы в листьях *H. morsus-ranae* снижалось в 1,8 раза, полисахаридов – в 2,0–2,5 раза по сравнению с контролем (таблица).

Содержание различных типов сахаров в листьях водокраса обыкновенного мг/г сухой массы

Углеводы	Местообитания			
	Пляж ГАИ	Центральный пляж	Микрорайон Ширийково	500 м ниже БОСК
Моносахариды	33,6 ± 0,04	28,9 ± 0,09	24,1 ± 0,06	19,2 ± 0,04
Дисахариды, в т.ч. сахароза	24,9 ± 0,06	22,8 ± 0,01	17,6 ± 0,05	13,8 ± 0,03
	23,6 ± 0,06	21,6 ± 0,01	16,7 ± 0,05	13,1 ± 0,03
Полисахариды	18,2 ± 0,02	9,1 ± 0,08	7,3 ± 0,01	4,3 ± 0,03

Двухфакторный дисперсионный анализ (модели I) показал, что взаимодействие двух факторов (фактор 1 – тип углевода, фактор 2 – местообитание) высоко значимо ($F = 16,353; P < 10^{-6}$).

Нами было отмечено, что соотношение различных типов сахаров в листьях растений, произрастающих в контроле, составляет 1,9:1,4:1. При увеличении уровня загрязнения урбанизированного водоема данное соотношение изменяется. Так, при умеренном загрязнении водоема (Центральный пляж и микрорайон Ширийково) увеличивается доля моносахаридов (3,2:1,3:1; 3,1:1,4:1). В створе, расположенном на 500 м ниже места сброса сточных вод, доля моносахаридов максимальна (4,5:1,4:1). Нами было обнаружено, что содержание углеводов в листьях *H. morsus-ranae* зависит от содержания в воде ионов железа: уравнение линейной регрессии имеет вид: $y = 223,465 - 278,028x$; угол наклона значимо отличается от 0 ($P = 0,029$).

Закключение

Проведенный анализ физико-химических показателей воды р. Малая Кокшага на станциях исследования выявил некоторые общие закономерности: увеличение содержания аммонийного азота приводит к повышению значения водородного показателя, последний определяет уровень нитрит- и нитрат-ионов, содержание которых также зависит и от концентрации

растворенного кислорода, а содержание растворенного кислорода коррелирует с биохимического потребления кислорода. Выявленное превышение содержания БПК₅ и ХПК соответствует низкому значению показателей кислорода, что свидетельствует о загрязнении урбанизированного водоема органическими веществами, а также о начальных этапах процесса заболачивания реки.

В условиях загрязнения водоема у *H. morsus-ranae* уменьшались ширина, длина, площадь и масса листьев, по видимому, особи исследуемого вида не успевали адаптироваться к изменяющимся условиям среды, и, как следствие, у них нарушались ростовые корреляции. По мере увеличения уровня загрязнения р. Малая Кокшага у свободно плавающего плейстофита в ассимиляционных органах содержание моносахаридов увеличивается, а дисахаридов и полисахаридов – снижается, что свидетельствует об изменении углеводного обмена, проявляющегося в ферментативном расщеплении дисахаридов и полисахаридов на соответствующие моносахариды.

Исследование выполнено при поддержке ФЦП № 14.В37.21.1111 «Экологические аспекты функционального состояния растений в условиях городской среды», НИР № 5.8479.2013 «Экологический мониторинг и прогнозирование состояния урбанизированных и природных популяций растений».

Список литературы

1. Алябшышева Е.А., Якимова О.В. Онтогенез водокраса обыкновенного (*Hydrocharis morsus-ranae* L.) / Онтогенетический атлас лекарственных растений: научное издание. – Т. VI. – Йошкар-Ола, 2011. – С. 47–50.
2. Воскресенская О.Л., Грошева Н.П. Руководство к большому практикуму. – Йошкар-Ола, 1994. – 62 с.
3. Дикеева Д., Петрова Н.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях. – Л., 1983. – С. 107–213.
4. Злобин Ю.А. Ценопопуляционный анализ в фитоценологии. – Владивосток, 1989. – С. 56–60.
5. Ипатова В.И. Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды. – М., 2005. – 224 с.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М., 1990. – 351 с.
7. Лелекова Е.В. Биоморфология водных и прибрежно-водных семенных растений северо-востока Европейской России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Пермь, 2006. – 21 с.
8. Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. – Киев, 1988. – 185 с.
9. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л., 1977. – 354 с.
10. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидробиотаника: прибрежно-водная растительность. – М., 2005. – 240 с.
11. Эйнон Л.О. Макрофиты в экологии водоемов. – М., 1992. – 256 с.
12. Экология города Йошкар-Олы / О.Л. Воскресенская [и др.]. – Йошкар-Ола, 2007. – С. 30–126.

References

1. Aljabyshyeva E.A., Jakimova O.V. Ontogeneticheskij atlas lekarstvennyh rastenij [Ontogenetic atlas of simples]. T. VI. Ioshkar Ola, 2011. pp. 47–50.
2. Voskresenskaja O.L., Grosheva N.P. Rukovodstvo k bol'shому praktikumu [The management to a big practical work]. Ioshkar Ola, 1994. 62 p.
3. Dikeeva D., Petrova N.A. Himicheskij sostav makrofitov i faktory, opredel'ajushhie koncentraciju

mineral'nyh veshhestv v vysshih vodnyh rastenijah [Chemical composition macrophytes and the factors defining concentration of mineral substances in the highest water plants]. L., 1983. pp. 107–213.

4. Zlobin Ju.A. Cenopopulyacionnyj analiz v fitocenologii [The coenopulyatsionny analysis in a fitotsenologiya]. Vladivostok, 1989. pp. 56–60.
5. Ipatova V.I. Adaptacija vodnyh rastenij k stressovym abioticheskim faktoram sredy [Adaptation of water plants to stressful abiotic factors of the environment]. M., 2005. 224 p.
6. Lakin G.F. Biometrija [Biometry]. M., 1990. 351 p.
7. Lelekova E.V. Avtoref. dis. kand. biol. nauk [Abstract of the thesis of candidate of biology]. Perm, 2006. 21 p.
8. Lukina L.F., Smirnova N.N. Fiziologija vysshih vodnyh rastenij [Physiology of the highest water plants]. Kiev, thought, 1988. 185 p.
9. Rukovodstvo po himicheskому analizu poverhnostnyh vod суши [Guide to a chemical analysis of the surface water of a land]. L., 1977. 354 p.
10. Sadchikov A.P., Kudrjashov M.A. Gidrobotanika: pribrezhno-vodnaja rastitel'nost' [Hydrobotany: coastal and water vegetation]. M., 2005. 240 p.
11. Jejnор L.O. Makrofity v jekologii vodoemov [Makrofitita in ecology of reservoirs]. M., 1992. 256 p.
12. Jekologija goroda Joshkar-Oly / O.L. Voskresenskaja [i dr.] [Ecology of the city of the Ioshkar Ola. Ioshkar Ola, 2007. pp. 30–126.

Рецензенты:

Воскресенская О.Л., д.б.н., профессор, зав. кафедрой, ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола;

Новоселов С.И., д.с.-х.н., профессор кафедры общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений, ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола.

Работа поступила в редакцию 22.04.2013.