

## СОДЕРЖАНИЕ В ЛИСТЬЯХ *ELODEA CANADENSIS* MICHX., *HYDROCHARIS MORSUS-RANAE* L. И *POTAMOGETON PERFOLIATUS* L. ОРГАНИЧЕСКИХ И БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ КОНЦЕНТРАЦИЮ

© 2023

Алябшьева Е.А.

Марийский государственный университет (г. Йошкар-Ола, Российская Федерация)

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности изменения содержания общего азота, белков и органических веществ в ассимиляционных органах трех видов гидрофитов (элодея канадская *Elodea canadensis* Michx., водокрас обыкновенный *Hydrocharis morsus-ranae* L., рдест пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus* L.), произрастающих при различном уровне загрязнения урбанизированного водоема. В работе представлены результаты сравнения загрязнения р. Малая Кокшага в черте г. Йошкар-Олы. Выявлены локальные районы загрязнения городского водоема азотистыми соединениями, взвешенными веществами и железом (сравнение с предельно-допустимой концентрацией, расчет индекса загрязнения вод, дисперсионный анализ). Основными источниками загрязнения реки являлись канализационные сточные и ливневые воды. Проведенные исследования показали, что в листьях погруженных укореняющихся гидрофитов было больше азота и белков по сравнению со свободно плавающим гидрофитом. В то же время в листьях водокраса обыкновенного концентрация органических веществ была выше, чем у элодеи канадской и рдеста пронзеннолистного, что обусловлено особенностями строения и функционирования растений. При увеличении антропогенной нагрузки на городской водоем изменяется соотношение биогенных и органических веществ в листьях гидрофитов: повышается концентрация общего азота и снижается содержание общего белка и органических веществ, что, по-видимому, свидетельствует об изменении направления транспорта органических веществ и ингибировании процессов синтеза в условиях загрязнения водоема. Полученные материалы могут быть использованы для организации биомониторинга за состоянием поверхностных источников, подвергающихся техногенному загрязнению стоками урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** высшие водные растения; элодея канадская; *Elodea canadensis* Michx.; водокрас обыкновенный; *Hydrocharis morsus-ranae* L.; рдест пронзеннолистный; *Potamogeton perfoliatus* L.; продуктивность; органические вещества; биогенные вещества; речная вода; химический анализ воды; загрязнение; городской водоем; город Йошкар-Ола; Республика Марий Эл.

## THE CONTENT OF ORGANIC AND BIOGENIC SUBSTANCES IN THE LEAVES OF *ELODEA CANADENSIS* MICHX., *HYDROCHARIS MORSUS-RANAE* L. AND *POTAMOGETON PERFOLIATUS* L. AND THE FACTORS DETERMINING THEIR CONCENTRATION

© 2023

Alyabysheva E.A.

Mari State University (Yoshkar-Ola, Russian Federation)

**Abstract.** This paper discusses the peculiarities of changing the content of total nitrogen, proteins and organic substances in the assimilation organs of three species of hydrophytes (*Elodea canadensis* Michx., *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Potamogeton perfoliatus* L.) growing at different levels of pollution of the urbanized reservoir. The work presents the results of comparison of the river pollution within the city of Yoshkar-Ola. Local areas of pollution of the urban water body with nitrogenous compounds, suspended solids and iron have been identified (a comparison with the maximum permissible concentration, a calculation of the water pollution index, an analysis of variance). The main sources of pollution of the river were sewage and storm water. The studies have shown that the leaves of submerged rooting hydrophytes have more nitrogen and proteins than the free-floating hydrophyte. In the leaves of *H. morsus-ranae*, the concentration of organic substances is higher than in *E. canadensis* and *P. perfoliatus*, which is a feature of the structure and functioning of plants. With an increase in the anthropogenic load on the urban reservoir, the ratio of biogenic and organic substances in the leaves of hydrophytes changes: the concentration of total nitrogen increases and the content of total protein and organic substances decreases, which, apparently, indicates a change in the direction of transport of organic substances and inhibition of synthesis processes under conditions of pollution of the reservoir. The obtained materials can be used to organize biomonitoring of the state of surface sources subjected to man-made pollution by the effluents of urbanized territories.

**Keywords:** higher aquatic plants; *Elodea canadensis* Michx.; *Hydrocharis morsus-ranae* L.; *Potamogeton perfoliatus* L.; productivity; organic matter; biogenic substances; river water; chemical analysis of water; pollution; urban body of water; the city of Yoshkar-Ola; the Republic of Mari El.

### Введение

Изучению динамики органических и биогенных веществ в водных экосистемах уделяется повышенное внимание в связи с необходимостью решения ряда экологических проблем, напрямую или косвенно связанных с состоянием и тенденциями развития водоемов. Способность поглощать и усваивать в процессе метаболизма органические соединения более выражена у неукорененных и укорененных гидрофитов, что имеет определенное положительное значение для растений, произрастающих в условиях с недостаточной освещенностью [1; 2].

В настоящее время изучен химический состав листьев ряда видов водных и наземных растений. Авторами было показано, что водные растения, по сравнению с наземными, содержали небольшое количество углерода (менее 410 мг/г сухого веса у 60% видов) и не отличались по концентрации азота в листьях (33 и 29 мг/г сухого веса соответственно). У гидрофитов выявлены низкое содержание органических кислот (40–90 мг/г сухого веса у 60% видов) и большая концентрация минеральных веществ (90–170 мг/г сухого веса у 50% видов). Общее количество неструктурных углеводов в листьях наземных и водных растений было сходным от 120 до 190 мг/г сухого веса, но существенно различалось содержание углеводов разных фракций. Концентрация растворимых углеводов была в 2,4 раза меньше, а количество неструктурных полисахаридов в 1,2 раза больше в листьях гидрофитов, чем у наземных растений [3, с. 389–397; 4].

Водная и прибрежно-водная растительность тесно связана с гидрологическими особенностями водоема, размерами и морфометрией котловины, химическим составом вод, характером и распределением донных отложений и рядом других факторов. Но работ по анализу специфики химического состава гидрофитов в связи с их адаптацией к среде обитания недостаточно. Так, рядом авторов отмечено, что при загрязнении среды наблюдается нарушение нормальных процессов динамики общего органического вещества в органах и тканях растений [5, с. 107–112; 6; 7; 8, с. 395–402; 9; 10, с. 133–139; 11, с. 68–82; 12, с. 49–56; 13; 14, с. 39–42].

Целью наших исследований явилось изучение изменения содержания органических и биогенных ве-

ществ в листьях некоторых гидрофитов при различном уровне загрязнения среды (р. Малая Кокшага).

Объектами исследования были виргинильные (виргинильное онтогенетическое состояние, v) особи элодеи канадской *Elodea canadensis* Michx. и водокраса обыкновенного *Hydrocharis morsus-ranae* L. (сем. Hydrocharitaceae), рдеста пронзеннолистного *Potamogeton perfoliatus* L. (сем. Potamogetonaceae).

Определение онтогенетического состояния проводили на основе концепции дискретного описания онтогенеза с учетом признаков-маркеров [15, с. 47–50, 227–231, 250–254].

Виргинильные растения *Elodea canadensis* были с 3–4 удлинненными, прямостоячими, водными побегами 1–2 порядков ветвления, высотой  $34,2 \pm 0,12$  см. Число мутовок на стебле до 68–69. Длина междоузлий равна  $0,7 \pm 0,04$  см. Форма листьев линейно-ланцетная, коротко-заостренная, с очень мелкими зубчиками по краю. Длина листовой пластинки –  $0,6 \pm 0,04$  см, ширина –  $0,2 \pm 0,02$  см. Количество стеблевых придаточных корней увеличивается до 14–16. Придаточные корни хорошо развитые, коричневые, и их длина достигла  $13,4 \pm 0,23$  см. Биомасса виргинильных растений увеличилась до  $0,13 \pm 0,021$  г.

Виргинильные растения *Hydrocharis morsus-ranae* были представлены системой из 2–4 розеточных побегов с 3–4 листьями и 1–2 неветвящихся столонов. Листья – простые, длинночерешковые, длина черешка –  $1,6 \pm 0,30$  см. Форма листовой пластинки сердцевидная, с притупленной верхушкой и глубоко сердцевидным основанием, длиной –  $1,4 \pm 0,10$  см и шириной –  $1,7 \pm 0,01$  см. Корневая система мочковатая, количество придаточных корней до 6. Придаточные корни белые, длиной  $13,5 \pm 4,02$  см, с хорошо заметными корневыми волосками. Биомасса виргинильных растений составляет  $0,06 \pm 0,010$  г.

Виргинильные растения *Potamogeton perfoliatus* имели водные восходящие удлинненные побеги 1–2 порядков ветвления, высотой  $27,8 \pm 1,45$  см. Количество узлов на стебле – 24–25. Листья многочисленные, сидячие, стеблеобъемлющие, в основании глубоко-сердцевидные, на верхушке тупые или острые, яйцевидно-ланцетные, длиной  $3,9 \pm 0,33$  см и  $1,4 \pm 0,15$  см шириной. Гипогеогенное корневище утолщается, начинает ветвиться. Число и длина придаточных корней увеличиваются. Биомасса виргинильных растений –  $0,66 \pm 0,091$  г (рис. 1).

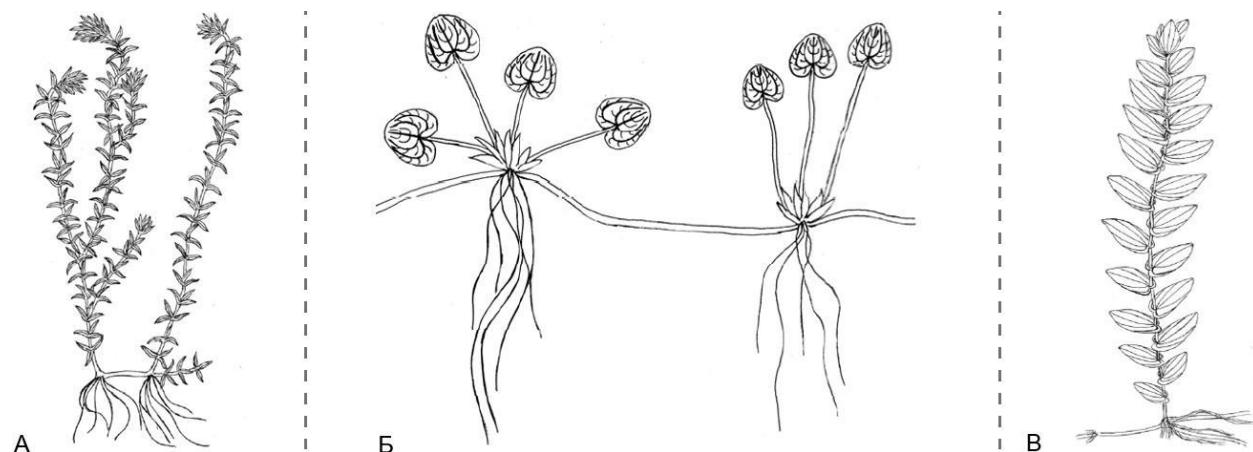


Рисунок 1 – Объекты исследования. А – *Elodea canadensis* Michx., Б – *Hydrocharis morsus-ranae* L., В – *Potamogeton perfoliatus* L.

### Материалы и методика исследований

Исследования проводили в мае – сентябре 2022 г. в окрестностях г. Йошкар-Олы (Республика Марий Эл). Отбор проб воды и сбор растений осуществлялся в 4 районах, расположенных на р. Малая Кокшага: 1) левый берег, 1 км выше черты города (контроль); 2) правый берег, центральный пляж, в черте города; 3) левый берег, в черте города; 4) левый берег, 500 м ниже места сброса сточных вод с БОСК МУП «Водоканал». Отбор проб проводили согласно ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб». Химический анализ состава речной воды осуществлялся в лабораториях ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет»: рН, взвешенные вещества, минерализация, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода (на 5-е сутки), химическое потребление кислорода, аммонийный, нитритный и нитратный азот, хлориды, сульфаты, общее железо согласно ГОСТ 33045-2014 и ГОСТ Р 58556-2019.

В листьях растений определяли общий азот (%) фотометрическим методом с помощью реактива Несслера. Определение содержания общего белка (мг/г сырой массы) в листьях гидрофитов оценивали фотометрическим методом с реактивом Фолина [16, с. 40–43, 62–65].

Определение накопления органического вещества и содержания зольных элементов (%) в биомассе растений проводили методом сжигания [17].

В работе применяли дисперсионный анализ, использовали программу «Statistica».

### Результаты исследований и их обсуждение

Расположенные на территории города водоемы подвергаются антропогенному влиянию в результате использования их в рекреационных целях и за счет поверхностного стока с урбанизированных территорий. Протекающие по территории города реки, как правило, являются приемниками сточных вод промышленного производства и коммунального хозяйства.

Активная реакция среды определяет наличие в среде биогенных элементов и степень их доступности для прибрежно-водной растительности. Это связано с тем, что многие элементы в щелочной среде растворимы и, следовательно, доступность для растений повышается. Как показали результаты исследований, значения рН в воде р. Малая Кокшага во всех исследуемых местообитаниях варьировали от 7,3 до 7,5 и соответствовали гигиеническим нормативам (рН 6,5–8,5).

Содержание растворенного кислорода в речной воде снижалось по мере загрязнения водоема. В условно чистом местообитании значение данного показателя составило  $8,9 \pm 0,70$  мг/дм<sup>3</sup>. Наименьшее значение данного показателя было характерно для района 500 м ниже сброса с БОСК ( $7,1 \pm 0,4$  мг/дм<sup>3</sup>). Окисляемость воды (ХПК) составляла 8,2–10,9 мг/дм<sup>3</sup>. Нами было отмечено, что по мере удаления от контроля значения показателя увеличились и превышали гигиенический норматив в 1,2–1,5 раза. В условиях загрязнения водоема наблюдалось незначительное увеличение уровня биохимического потребления кислорода за 5 суток (БПК<sub>5</sub>) с  $3,1 \pm 0,4$  мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (контроль) до  $3,5 \pm 0,2$  мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (500 м ниже сброса с БОСК).

Содержание взвешенных веществ в воде р. Малая Кокшага варьировало от 5,5 до 7,8 мг/дм<sup>3</sup> и превышало санитарно-гигиенический норматив, т.е. увеличивалось более чем на 0,75 мг/дм<sup>3</sup>. В контроле в воде концентрация аммонийного азота была наименьшей –  $0,5 \pm 0,04$  мг/дм<sup>3</sup>. Максимальная концентрация ионов аммония была обнаружена в воде, отобранной в районе 500 м ниже сброса с БОСК –  $1,4 \pm 0,4$  мг/дм<sup>3</sup>. Содержание нитритов в воде выше БОСК МУП «Водоканал» составило 0,01–0,02 мг/дм<sup>3</sup> и было в 2,0 раза больше, чем в контроле. При анализе содержания нитратов в речной воде было выявлено, что в 3-м районе исследования концентрация нитрат-ионов увеличивалась в 1,5 раза, а в 4-м районе – в 2,0 раза по сравнению с контролем. Концентрация хлоридов и сульфатов в воде не превышала ПДК (12,0–14,0 мг/дм<sup>3</sup> и 9,3–17,0 мг/дм<sup>3</sup> соответственно). Увеличение общей минерализации воды было отмечено в районе 500 м ниже сброса с БОСК. Концентрация общего железа превышала ПДК: во 2–3 районах в 1,9–2,0 раза; в 4 районе – в 2,3 раза.

Анализ данных с использованием однофакторного дисперсионного анализа (модель I) показал, что между местообитаниями различия были высоко значимыми лишь по содержанию в воде нитрат-ионов и аммонийного азота ( $P = 0,006265$ ;  $P = 0,001684$ ). Таким образом, р. Малая Кокшага характеризовалась умеренным загрязнением, однако в районе 500 м ниже сброса с БОСК снижалось количество растворенного кислорода и одновременно увеличивались окисляемость и биохимическое потребление кислорода за 5 суток, кроме этого, увеличивалась концентрация соединений азота, что может свидетельствовать о повышении уровня эвтрофикации и техногенного загрязнения [18, с. 582–586]. В черте г. Йошкар-Олы концентрация общего железа в воде поверхностного водоема превышала ПДК в 1,8–2,3 раза. Для оценки качества воды поверхностного водоема нами был рассчитан индекс загрязнения вод (ИЗВ). Наименьшее значение индекса загрязнения вод было характерно для 1-го района (ИЗВ = 1,7). ИЗВ в 2–3 районах равнялся 1,8–1,9. Наибольшее значение индекса загрязнения вод было отмечено в 4-м районе (ИЗВ = 2,1).

Общее содержание азота в фитомассе различных макрофитов определялось многими исследователями и составляет по отношению к сухому весу 1–3% [5, с. 107–112]. Скорость оборота азота в мелководных объектах колеблется в зависимости от гидрологических и морфологических особенностей, гидрохимического состава, рН, температуры и других факторов. Многие макрофиты способны существовать в довольно широком диапазоне концентраций соединений азота в окружающей среде, хотя избыток нитратов оказывает на них токсическое действие. Ионы аммония вызывают еще более значительные повреждения растений, они не накапливаются в растительных клетках, а быстро превращаются в аминокислоты и амиды в корнях и в этих органических формах транспортируются в листья [19, с. 243–251; 20].

В ходе работы было проанализировано влияние условий среды на содержание общего азота в листьях свободно плавающих и погруженных укореняющихся гидрофитов. Так, наименьшая концентрация

общего азота была отмечена в листьях гидрофитов, произрастающих в контрольном местообитании. Ниже по течению реки в черте г. Йошкар-Олы содержание  $N_{\text{общ}}$  увеличивалось (рис. 2).

Повышенное содержание биогенных элементов является отражением изменения химического состава водной среды [9]. Учитывая биологические особенности укореняющихся погруженных гидрофитов, а именно – высокую проницаемость кутикулы и эпидермиса их листьев, слабое развитие корней, большую редукцию сосудисто-проводящей системы, можно заключить, что основную нагрузку в поглощении веществ из окружающей среды несут листья. При наличии во внешнем растворе достаточного количества растворенных питательных веществ поглощение осуществляется листьями, так как в них сосредоточены основные центры мобилизации поглощаемых соединений (митохондрии, хлоропласты) для синтеза различных биополимеров [2; 21, с. 305–311; 22, с. 42–50].

Распределение содержания общего азота в листьях гидрофитов в зависимости от вида показало, что концентрация  $N_{\text{общ}}$  в листьях рдеста пронзеннолистного была наибольшей, на втором месте была элодея канадская, на третьем месте – водокрас обыкновенный. То есть погруженные укорененные гидрофиты занимали ведущее положение по сравнению со свободно плавающими гидрофитами с плавающими листьями ( $F = 132,79$ ;  $P = 0,00000000012$ ).

В результате двухфакторного дисперсионного анализа (модель I) было установлено, что на содержание общего азота в листьях гидрофитов влияют

фактор 1 – местообитание, фактор 2 – вид растения, а также взаимодействие этих двух факторов ( $F = 11915,59$ ,  $P < 0,5 \times 10^{-8}$ ,  $F = 489,53$ ,  $P < 0,3 \times 10^{-9}$ ).

В настоящее время определено количество углеводов, неструктурных углеводов, органических кислот у ряда водных и наземных растений [3, с. 389–397]. Загрязнение среды влияет на продукционную способность высших водных растений. К.И. Абрамовой [23] было установлено, что концентрация белка в листьях рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) зависела от уровня содержания нитратов в природной воде.

В работе проанализировано содержание общего белка в листьях трех видов гидрофитов. Так, наименьшее количество белка было обнаружено в листьях водокраса обыкновенного, в листьях элодеи канадской белков было на 10–15% больше. Наибольшее содержание белков было обнаружено в листьях рдеста пронзеннолистного (в среднем – 4,94 мг/г сырой массы) (рис. 3).

Анализ полученных данных с применением двухфакторного дисперсионного анализа (модель I) показал, что между фактором 1 – местообитание, фактором 2 – вид и содержание общего белка в листьях гидрофитов обнаружено высокозначимое взаимодействие ( $F = 213,99$ ,  $P < 10^{-6}$ ;  $F = 40,08$ ,  $P < 10^{-6}$ ). То есть содержание общего белка уменьшалось в условиях загрязнения водоема (левый берег, 1 км выше черты города (контроль) > левый берег, центральный пляж, в черте города > правый берег, в черте города > левый берег, 500 м ниже места сброса сточных вод с БОСК МУП «Водоканал»).

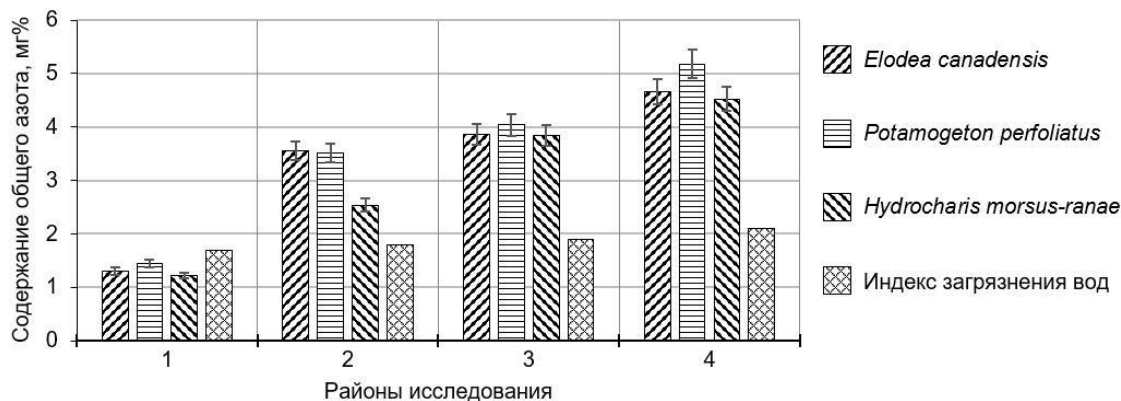


Рисунок 2 – Изменение содержания общего азота в листьях высших водных растениях

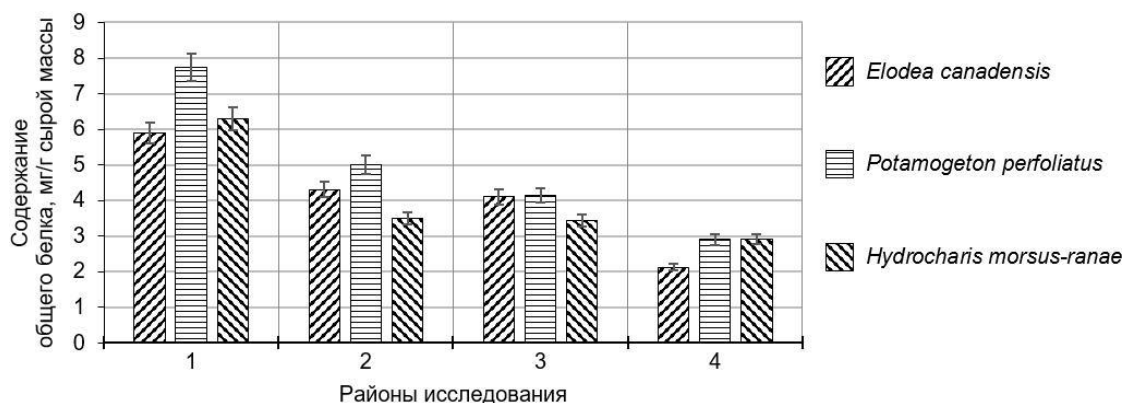


Рисунок 3 – Изменение содержания общего белка в листьях высших водных растениях

В процессе жизнедеятельности высших водных растений важное место занимают органические вещества, которые могут быть источником дополнительного углеродного и азотного питания [3, с. 389–397].

В дальнейшем были изучены особенности накопления органических веществ в вегетативных органах макрофитов, произрастающих в условиях урбанизированной среды.

Анализ результатов исследования с помощью двухфакторного анализа (модель I) показал, что на содержание органического вещества в листьях исследуемых макрофитов оказывают влияние фактор 1 – вид ( $F = 32,1629$ ,  $P < 10^{-6}$ ) и фактор 2 – местообитания ( $F = 573,4361$ ,  $P < 10^{-6}$ ), а также взаимодействие этих двух факторов ( $F = 36,9484$ ,  $P < 10^{-6}$ ).

У высших водных растений, произрастающих в контроле, содержание органических веществ в листьях (без учета вида) было максимальным, в то время как у  $v$ -особей, обитающих 500 м ниже сброса с БОСК – минимально (рис. 4).

В листьях элодеи канадской содержание органических веществ изменялось от  $65,7 \pm 1,21$  до  $77,0 \pm 1,53$ , а в листьях рдеста пронзеннолистного от  $68,3 \pm 1,52$  до  $77,3 \pm 2,21\%$  сухой массы. Анализ полученных данных показал, что наибольшая концентрация органических веществ была в листьях  $v$ -особей водокраса обыкновенного ( $68,0 \pm 1,12$  –  $80,3 \pm 0,58\%$  сухой массы).

#### Заключение

Особенности химического состава гидрофитов разных групп (погруженные укореняющиеся гидрофиты, свободно плавающие на поверхности воды) отражали специфику их структурно-функциональной

адаптации к водной среде. Каждый вид высших водных растений характеризовался специфичным для него содержанием белков.

В листьях погруженных укореняющихся гидрофитов общего азота в 1,3 раза, а белков в 1,2 раза было больше, чем в листьях свободно плавающего гидрофита (*Hydrocharis morsus-ranae* < *Elodea canadensis* < *Potamogeton perfoliatus*).

В листьях свободно плавающего гидрофита содержание органических веществ было наибольшим, в ассимиляционных органах погруженных укорененных гидрофитов органических веществ было меньше (*Potamogeton perfoliatus* < *Elodea canadensis* < *Hydrocharis morsus-ranae*).

В условиях загрязнения р. Малая Кокшага загрязняющими веществами, содержащимися в смешанных сточных водах, попадающих в водоем после очистки на очистных сооружениях канализации г. Йошкар-Олы, наблюдалось изменение продукционных процессов у гидрофитов, которое проявлялось в увеличении содержания общего азота и одновременном снижении общего белка и органических веществ в ассимиляционных органах высших водных растений, что, по-видимому, свидетельствует об изменении направления транспорта органических веществ и ингибировании процессов синтеза в условиях загрязнения водоема.

Таким образом, результаты исследования могут быть использованы для организации биомониторинга за состоянием поверхностных источников, подвергающихся техногенному загрязнению стоками урбанизированных территорий.

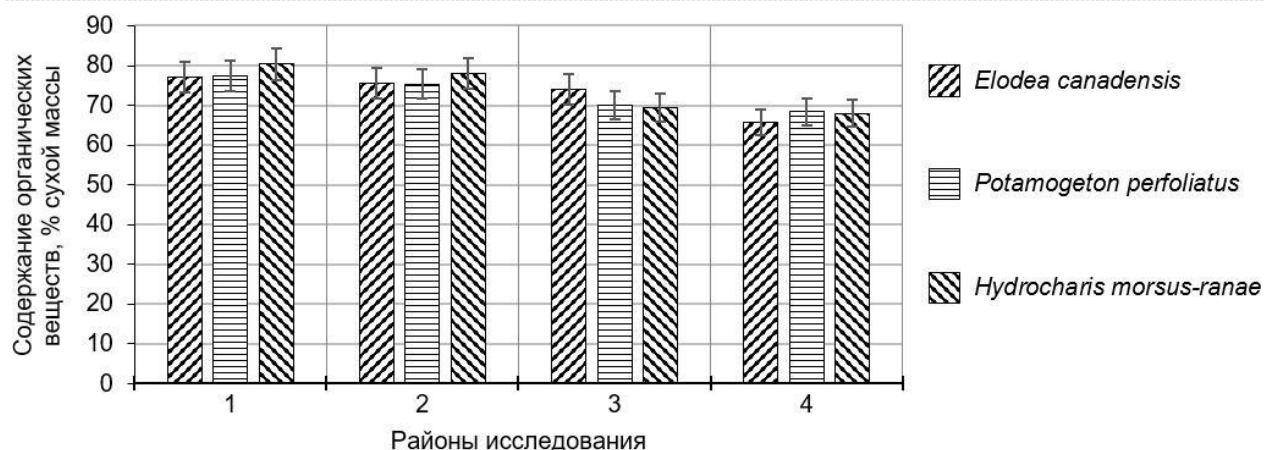


Рисунок 4 – Изменение содержания органических веществ в листьях высших водных растениях

#### Список литературы:

1. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход / пер. с англ. Ю.Я. Мазеля. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
2. Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. Киев: Наук. думка, 1988. 188 с.
3. Ронжина Д.А., Иванов Л.А., Пьянков В.И. Химический состав листа и структура фотосинтетического аппарата высших водных растений // Физиология растений. 2010. Т. 57, № 3. С. 389–397.
4. Матвеев В.И., Соловьева В.В., Саксонов С.В. Экология водных растений: учеб. пособие. Изд. 2-е, доп. и

перераб. Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2005. 282 с.

5. Дикиева Д.М., Петрова И.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях // Гидробиологические процессы в водоемах: сб. ст. / под ред. И.М. Распопова, С. Гейны. Л.: Наука, 1983. С. 107–112.

6. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды / отв. ред. С. Гейны, К.М. Сытника. Киев: Наук. думка, 1993. 435 с.

7. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидрботаника: прибрежно-водная растительность: учеб. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.

8. Ронжина Д.А., Иванов Л.А., Ламберс Г., Пьянков В.И. Изменение химического состава листьев гидрофитов при адаптации к водной среде // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 3. С. 395–402.
9. Ипатова В.И. Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды. М.: Графикон-принт, 2005. 224 с.
10. Смирнова Н.Н. Макрофиты и их роль в процессах седиментации и транзита веществ из воды в донные отложения // Взаимодействие между водой и седиментами в озерах и водохранилищах: мат-лы школы-семинара. 28 июня – 5 июля 1982 г., г. Борок, СССР / отв. ред. Н.В. Буторин. Л.: Наука, 1984. С. 133–139.
11. Борисова Г.Г., Чукина Н.В. Исследование химического состава гидрофитов при разных уровнях воздействия на водные экосистемы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2008. № 2. С. 68–82.
12. Чукина Н.В., Борисова Г.Г. Структурно-функциональные показатели высших водных растений из местобитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Биология внутренних вод. 2010. № 1. С. 49–56.
13. Алябышева Е.А. Оценка накопления биогенных элементов ценопопуляциями *Alisma plantago-aquatica* L. и *Sagittaria sagittifolia* L. (сем. Alismataceae Vent.) в экологическом ряду трофности озер [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8655>.
14. Алябышева Е.А. Влияние урбанизированной среды на содержание фенольных соединений в листьях высших водных растений // Научный альманах. 2016. № 7–2 (21). С. 39–42. DOI: 10.17117/na.2016.07.02.039.
15. Онтогенетический атлас растений: науч. издание. Т. VI / отв. ред. Л.А. Жукова. Йошкар-Ола, 2011. 336 с.
16. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии. Ч. 1: учеб. пособие. Йошкар-Ола, 2006. 107 с.
17. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учеб. пособие. М.: Гуманит. изд. центр Владос, 2001. 288 с.
18. Алябышева Е.А. Влияние условий произрастания на продукционные процессы *Hydrocharis morsus-ranae* L. (сем. Hydrocharitaceae Juss.) // Фундаментальные исследования. 2013. № 6–3. С. 582–586.
19. Пьянков В.И., Иванов Л.А., Ламберс Х. Характеристика химического состава листьев растений бореальной зоны с разными типами экологических стратегий // Экология. 2001. № 4. С. 243–251.
20. Шашуловская Е.А. Роль мелководий в самоочищении равнинных водохранилищ (на примере Волгоградского водохранилища): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Нижний Новгород, 2010. 177 с.
21. Розенцвиг О.А., Мурзаева С.В., Гущина И.А. Аккумуляция меди и ее влияние на метаболизм белков, липидов и фотосинтетических пигментов в листьях *Potamogeton perfoliatus* L. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2003. Т. 5, № 2. С. 305–311.
22. Борисова Г.Г., Кислицина М.Н., Малева М.Г., Чукина Н.В. Изменение структурно-функциональных характеристик элодеи при загрязнении водной среды // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. № 5. С. 42–50.
23. Абрамова К.И. Аутоэкологические особенности алгицидной и санирующей активности рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.) в условиях нагрузки по нитратному азоту: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Нижний Новгород, 2009. 207 с.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<b>Алябышева Елена Александровна</b> , кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии; Марийский государственный университет (г. Йошкар-Ола, Российская Федерация). E-mail: e_alab@mail.ru.	<b>Alyabysheva Elena Aleksandrovna</b> , candidate of biological sciences, associate professor of Ecology Department; Mari State University (Yoshkar-Ola, Russian Federation). E-mail: e_alab@mail.ru.

**Для цитирования:**

Алябышева Е.А. Содержание в листьях *Elodea canadensis* Michx., *Hydrocharis morsus-ranae* L. и *Potamogeton perfoliatus* L. органических и биогенных веществ и факторы, определяющие их концентрацию // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 1. С. 15–20. DOI: 10.55355/snv2023121102.