

Оригинальная статья

УДК 581.52+581.9

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-3-259-273>

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОВ МАЛЫХ РЕК ГОРОДА САРАТОВА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А. С. Беликов[✉], В. А. Болдырев, О. В. Седова, О. Н. Торгашкова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Поступила в редакцию 22.03.2023 г., после доработки 20.05.2023 г., принята 22.05.2023 г., опубликована 22.09.2023 г.

Аннотация. Представлены результаты исследований флор малых рек в пределах г. Саратова (Елшанка, Назаровка, 1-я Гусёлка и 2-я Гусёлка). Видовой состав водных растений исследованных водотоков представлен 37 видами макрофитов, принадлежащих к 23 родам, 17 семействам и трем отделам Charophyta, Polypodiophyta и Magnoliophyta. По количеству представленных видов преобладают семейства Potamogetonaceae, Surgetaceae и Lemnaceae. Значения индекса Менхиника свидетельствуют, что наибольшее флористическое разнообразие характерно для рек Елшанка и Назаровка (соответственно 3.1 и 3.4). Видовой состав водных растений исследованных рек в пределах городской территории имеет низкий коэффициент сходства с флорами рек с относительно низкой антропогенной нагрузкой. Самой многочисленной экологической группой являются гидрофиты (22 вида). Согласно индексу доминирования Паляя – Ковнацки, среди макрофитов изученных рек большинство видов относится к субдоминантам (57.28%) (*Potamogeton perfoliatus*, *Typha angustifolia*, *Lemna trisulca* и др.), к доминантам принадлежат 37.18% (*Phragmites australis*, *Potamogeton pectinatus*, *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*), остальная часть (11.54%) определены как субдоминанты первого порядка. Исключительное преобладание характерно для *Ceratophyllum demersum* и *Phragmites australis*, которые выступали в роли доминантов на всех изученных реках. Значительная часть рек характеризуется низкой степенью зарастания русла гидрофильной растительностью от слабо зарастающего до не зарастающего. Основными типами распределения водной и прибрежно-водной растительности выступают поясной и фрагментарный. Сообщества макрофитов характеризуются упрощенной структурой (одно- или двухъярусные), с абсолютным доминированием одного вида растений и наличием от двух до четырех сопутствующих видов с низкими значениями проективного покрытия. Результаты расчетов индексов (макрофитный индекс для малых рек (S_m), Indice Biologique Macrophytique en Riviere (IBMR)) на основе структурных параметров макрофитов показали, что изученные реки имеют удовлетворительный экологический статус.

Ключевые слова: макрофиты, малые реки, гидрофильная флора, индекс доминирования, сообщества макрофитов, МО г. Саратов

✉ Для корреспонденции. Кафедра ботаники и экологии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского.

ORCID и e-mail адреса: Беликов Александр Сергеевич: <https://orcid.org/0000-0002-5359-1065>, a.belik99@mail.ru; Болдырев Владимир Александрович: <https://orcid.org/0000-0003-0322-3755>, boldyrev52@bk.ru; Седова Оксана Владимировна: <https://orcid.org/0000-0001-9866-6094>, sedova_ov@mail.ru; Торгашкова Ольга Николаевна: <https://orcid.org/0000-0002-3478-5526>, torgaschkova88@mail.ru.

Для цитирования. Беликов А. С., Болдырев В. А., Седова О. В., Торгашкова О. Н. Структура сообществ макрофитов малых рек города Саратова в условиях антропогенной нагрузки // Поволжский экологический журнал. 2023. № 3. С. 259 – 273. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-3-259-273>

ВВЕДЕНИЕ

Макрофиты являются основой функционирования водных экосистем и в то же время самым динамичным и уязвимым их компонентом, так как при антропогенном загрязнении водоемов отмечаются снижение разнообразия водных растений, упрощение структуры их сообществ, смена доминирующих видов макрофитов (Чукина, Борисова, 2010; Винокурова и др., 2015; Melzer, Schneider, 2001; Bornette, Puijalon, 2011; Wiegbleb, Gebler, 2016; Abell et al., 2022; Jewell et al., 2023). Изменения структуры и состава растительных сообществ, которые наблюдаются в водотоках в течение нескольких лет, свидетельствуют об их антропогенной трансформации. Следовательно, состояние сообществ макрофитов является необходимым критерием в экологических исследованиях водоёмов (Дубына и др., 1993; Свириденко и др., 2012; Лобкова и др., 2021; Baldantoni et al., 2005; Szoszkiewicz et al., 2009, 2010; Bornette, Puijalon, 2011; Singh et al., 2016; Ceschin et al., 2021; Scofield et al., 2023).

Цель данного исследования – выявить состав и структуру сообществ макрофитов некоторых рек в пределах муниципального образования «Город Саратов» (МО г. Саратов), характеризующихся разными формами антропогенной нагрузки, и на основе полученных данных оценить экологическое состояние речных экосистем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на малых реках Елшанка, Назаровка, 1-я Гусёлка и 2-я Гусёлка, протекающих по территории МО г. Саратов. По данным Государственного водного реестра России, изученные реки относятся к Нижневолжскому бассейновому округу (Государственный..., 2023).

Река Елшанка начинается в районе пос. Жасминный и течёт на северо-восток по пос. Елшанка. Длина реки составляет 26 км, площадь бассейна – 176 км². Русло реки извилистое, ширина у истока не более 1 м, затем расширяется до 4 м. Впадает в р. Курдюм.

Река Назаровка берет начало в прудах у пос. Тепличный. Длина ее составляет около 20 км. Ниже по течению река соединяется со своим притоком Березиной речкой и впадает в Волгоградское водохранилище в районе пос. Увек.

Исток р. 1-я Гусёлка находится вблизи ипподрома. Длина водотока равна 12 км, водосборная площадь составляет 87.7 км². Исток р. 2-я Гусёлка располагается в районе пруда Зеркальный у Вольского тракта. Длина водотока 2-й Гусёлки равна 12 км, водосборная площадь составляет 36.6 км². За Гусельским мостом реки соединяются и впадают в Гусельский залив.

Изучение видового состава гидрофильных растительных сообществ осуществлялось в вегетационные сезоны 2020 – 2022 гг. Растительность изучали на

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОВ МАЛЫХ РЕК

профилях, которые закладывались от уреза воды вглубь водотока. Каждый профиль состоял из серии пробных площадок, размер которых определялся в зависимости от ширины поясов – 2×2 м, 1×4 м, 0.5×8 м, либо естественными границами фитоценозов. Осуществлялось подробное описание водных и прибрежно-водных фитоценозов: составлялся список видов, отмечались максимальная высота растений, проективное покрытие (ПП) и обилие. Выявлялись особенности размещения макрофитов (куртинами, фрагментами, поясами и др.) по площади водоема (Катанская, 1981; Соловьева, Лапилов, 2013).

Названия видов растений приведены по сводке С. К. Черепанова (1995).

Гидрохимический анализ воды и донных отложений осуществлялся методами фотометрического определения растворенных ортофосфатов, железа с сульфосалициловой кислотой; перманганатная окисляемость – методом Кубеля; сульфаты – комплексонометрическим методом; хлорид-ионы – методом аргентометрии; нитриты – спектрофотометрическим методом (Петин, 2006; Давиденко и др., 2011; Порфирьева и др., 2018).

При выявлении видового сходства исследуемых сообществ применялся индекс Чекановского – Серенсена (Матвеев и др., 2005). Для оценки доминирования видов рассчитывался индекс доминирования Паля – Ковнацки D_i (Палий, 1961; Kownacki, 1971). Также вычислялись индексы видового разнообразия Менхиника D_{mn} (Menhinick, 1964), индекс гидрофитности I_{Hr} (Свириденко и др., 2012), индекс загрязненности воды (ИЗВ) (Глотова, 2006), макрофитный индекс для малых рек (Зуева, 2007) и индекс IBMR (Indice Biologique Macrophytique en Riviere), основанный на сравнении флористических списков водотоков и учете индикаторной значимости видов макрофитов (Зуева и др., 2019; Naury et al., 2006). Зависимость числа видов от экологического состояния речных экосистем анализировали с помощью аппроксимации нелинейной степенной функцией, качество которой оценивали с помощью коэффициента детерминации (R^2).

Статистическая обработка выполнена в пакетах программ MS Excel 2010 (Microsoft Corp.) и Statistica 6.0 (StatSoft Inc., OK, USA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными источниками поступления загрязняющих веществ в изученные реки являются сбросы предприятий (Саратовский нефтеперерабатывающий завод (СНПЗ), ООО «Саратоворгсинтез»), коммунально-бытовых сточных вод, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий.

В результате изучения видового состава сообществ макрофитов малых рек МО г. Саратов было выявлено 37 видов растений, принадлежащих к 23 родам, 17 семействам и трем отделам Charophyta, Polypodiophyta и Magnoliophyta. Отделы Charophyta и Polypodiophyta содержат по одному виду *Chara* sp. и *Salvinia natans* соответственно. В исследованной флоре по количеству представленных видов господствуют семейства Potamogetonaceae (18.9% от общего числа видов), Cyperaceae (16.3%) и Lemnaceae (10.8%). На долю семейств Hydrocharitaceae, Poaceae, Nymphaeaceae, Ceratophyllaceae, Alismataceae, Typhaceae приходится по 5.4% (по два

вида), а семейств Characeae, Salviniaceae, Lythraceae, Polygonaceae, Umbelliferae, Butomaceae, Iridaceae и Najadaceae – по 2.7% (по одному виду).

Значения индекса Менхиника свидетельствуют, что наибольшее видовое разнообразие характерно для рек Елшанка и Назаровка (соответственно $D_{mn} = 3.1$ и 3.4), что объясняется наличием на этих реках доступных мест обитания для макрофитов, например, создание прудов способствует расширению зоны мелководий и замедлению течения. Обедненной является флора р. 1-я Гуселка ($D_{mn} = 2.3$), поскольку преобладающую часть вегетационного периода русло на значительном протяжении пересыхает.

Изученные реки характеризуются низкой степенью зарастания русла гидрофитной растительностью от слабо зарастающего до не зарастающего. Основными типами распределения водной и прибрежно-водной растительности выступают поясной и фрагментарный. На доступных для произрастания участках гелофитная растительность представлена преимущественно фитоценозами *Phragmites australis*, расположенными узкими (2 – 3 м) поясами или обширными массивами, в составе которых встречаются куртины *Typha angustifolia* или *T. latifolia*. Либо *T. angustifolia* узкой полосой окаймляет заросли *Phragmites australis*, а небольшие массивы *T. latifolia* встречаются в виде отдельных участков на реках Елшанка и Назаровка. В толще воды повсеместно господствует *Ceratophyllum demersum*. На открытых участках всех водотоков встречаются *Potamogeton perfoliatus* и *P. crispus*. На реках Назаровка и Елшанка в небольшом количестве зарегистрированы *Potamogeton pectinatus*, *P. lucens* и *P. nodosus*. Для некоторых участков рек, особенно Назаровки, характерно обильное разрастание сплошным ковром *Lemna minor* и *L. gibba*. Отмечены единичные экземпляры *Potamogeton acutifolius* на р. 2-я Гуселка и *P. berchtoldii* на р. Елшанке. Сообщества макрофитов характеризуются упрощенной структурой (одно- или двухъярусные) с абсолютным доминированием одного вида растений и наличием от двух до четырех сопутствующих видов с низкими значениями проективного покрытия.

Согласно индексу доминирования Паляя – Ковнацки среди макрофитов изученных рек большинство видов относится к субдоминантам (57.28%) (*Potamogeton perfoliatus*, *Typha angustifolia*, *Lemna trisulca* и др.), к доминантам принадлежат 37.18% (*Phragmites australis*, *Potamogeton pectinatus*, *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*), остальные виды (11.54%) определены как субдоминанты первого порядка.

Макрофиты изученной флоры принадлежат к трём основным экологическим группам: гидрофитам, гелофитам и гидрогелофитам по классификации, предложенной В. Г. Папченковым (2001). Самой многочисленной экологической группой являются гидрофиты, насчитывающие 22 вида (60.5%). Большинство из них (35.29%) представлены группой погруженных в воду, укореняющихся гидрофитов (*Potamogeton acutifolius*, *P. berchtoldii*, *P. pectinatus*, *P. crispus*, *P. lucens*, *P. perfoliatus*, *Najas major*). На долю укореняющихся гидрофитов с плавающими на поверхности воды листьями (*Potamogeton natans*, *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida*) и гидрофитов не укореняющихся, свободно плавающих на поверхности воды (*Lemna minor*, *L. gibba*, *Salvinia natans*, *Hydrocharis morsus-ranae*) приходится по 11.76%. Наиболее малочисленной группой являются погруженные в воду не укореняющиеся

гидрофиты, к которой относятся два вида: *Lemna trisulca* и *Ceratophyllum demersum* (5.88%).

Гелофиты представлены пятью видами: *Typha angustifolia*, *T. latifolia*, *Butomus umbellatus*, *Scirpus lacustris*, *Phragmites australis*, *Alisma plantago-aquatica*, *A. gramineum*, что составляет 18.4% от всех макрофитов. Гигрогелофитами являются восемь видов: *Agrostis stolonifera*, *Bolboschoenus maritimus*, *Carex pseudocyperus*, *C. acuta*, *Scirpus sylvaticus*, *Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria*, *Stium latifolium*, на их долю приходится 21.1%.

Таксономическая и экологическая структура флор рек, имеющих свой водосбор и русло на урбанизированной территории и в условиях со сниженным антропогенным прессом, значительно отличаются (рис. 1).

Реки Терешка и Терса, протекающие на значительном протяжении по территории Национального парка «Хвалынский», имеют более богатые флоры, нежели реки МО г. Саратов (Старчиков и др., 2017; Седова и др., 2020). Регрессионная линия отражает закономерное снижение числа видов при увеличении антропогенной нагрузки (рис. 2).

Результаты анализа гигроморф водотоков с незначительной антропогенной нагрузкой показали, что наибольшая роль в формировании их флор принадлежит заходящим в воду береговым растениям и растениям умеренно увлажненных местообитаний (рис. 3).

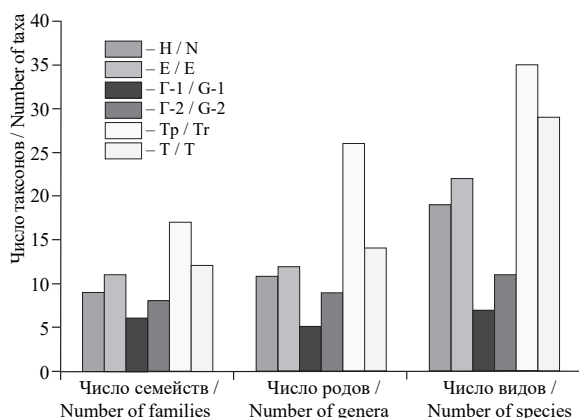


Рис. 1. Таксономическая структура флор некоторых рек Саратовского Правобережья: Н – Назаровка, Е – Елшанка, Г-1 – 1-я Гуселка, Г-2 – 2-я Гуселка, Тр – Терешка, Т – Терса

Fig. 1. Taxonomic structure of the floras of some rivers of the Saratov Volga right bank: N – Nazarovka, E – Yelshanka, G-1 – 1st Guselka, G-2 – 2nd Guselka, Tr – Tereshka, T – Tersa

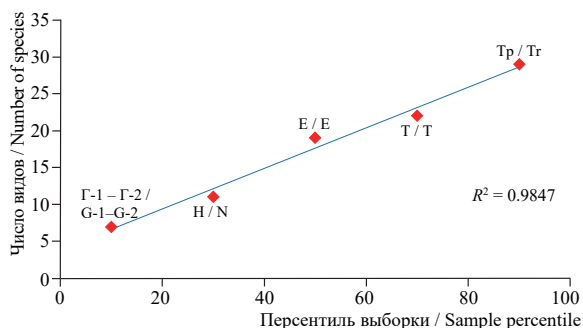


Рис. 2. Видовое разнообразие водной флоры некоторых рек Саратовского Правобережья, характеризующихся разным уровнем антропогенной нагрузки: Г-1 – 1-я Гуселка, Г-2 – 2-я Гуселка, Н – Назаровка, Е – Елшанка, Т – Терса, Тр – Терешка

Fig. 2. Species diversity of the aquatic flora of some rivers of the Saratov Volga right bank, characterized by different levels of anthropogenic load: G-1 – 1st Guselka, G-2 – 2nd Guselka, N – Nazarovka, E – Yelshanka, T – Tersa, Tr – Tereshka

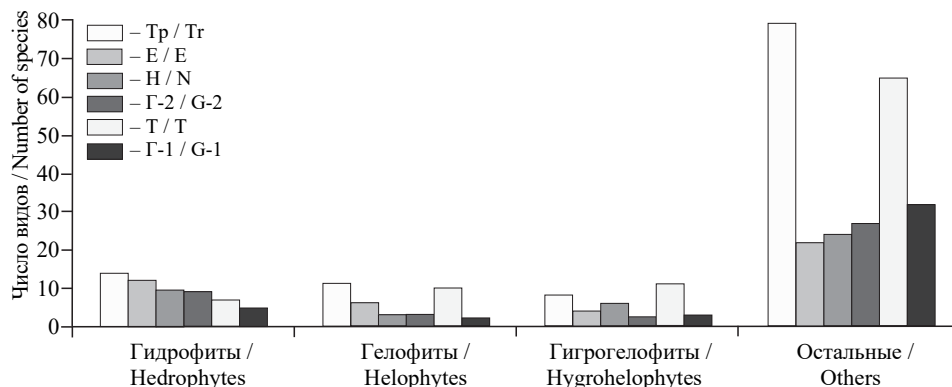


Рис. 3. Экологический состав водной флоры некоторых рек Саратовского Правобережья: Тр – Терешка, Е – Елшанка, Н – Назаровка, Г-2 – 2-я Гуселка, Т – Терса, Г-1 – 1-я Гуселка
Fig. 3. Ecological composition of the aquatic flora of some rivers of the Saratov Volga right bank: Tr – Tereshka, E – Elshanka, N – Nazarovka, G-2 – 2nd Guselka, T – Torsa, G-1 – 1st Guselka

Основными ценозообразователями этих рек являются гелофиты *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Butomus umbellatus* и *Sparganium erectum*. Гидрофиты здесь в сложении флоры и растительности значительной роли не играют (Седова, Лаврентьев, 2021).

Во флоре малых рек МО г. Саратов доминирующей группой растений были гидрофиты (22 вида), гигрофитов обнаружено только 12 видов, что составляет 28.94% от числа видов всей флоры. Снижение разнообразия гигрофитов связано с отсутствием для них возможных мест обитания в исследованных реках, что выражается в значительной забетонированности, либо захламленности твердыми бытовыми отходами. Результаты проведенных наблюдений подтверждаются и значениями индексов гидрофитности исследованных водотоков (табл. 1).

Таблица 1. Индексы гидрофитности I_{Hg} некоторых рек Саратовского правобережья

Table 1. Hydrophytic indices I_{Hg} of some rivers of the Saratov Volga right bank

Река / River	Индекс гидрофитности / Hydrophytic index
Терешка / Tereshka	-0.1
Терса / Teresa	-0.8
Елшанка / Elshanka	0.04
Назаровка / Nazarovka	0.05
1-я Гуселка / 1 st Guselka	0.03
2-я Гуселка / 2 nd Guselka	0.04

считаны попарные коэффициенты сходства Серенсена – Чекановского их флористического состава (табл. 2).

Как видно из табл. 1, все реки характеризуются низкой долей гидрофитов, но в водотоках МО г. Саратов эта группа растений участвует в формировании растительного покрова наравне с гелофитами и гигрогелофитами.

На основании данных по видовому составу высшей водной растительности исследованных рек были рас-

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОВ МАЛЫХ РЕК

Таблица 2. Коэффициенты сходства флористического состава исследованных рек

Table 2. Coefficients of similarity of the floristic composition of the studied rivers

Река / River	Елшанка / Elshanka	Назаровка / Nazarovka	1-я Гуселка / 1st Guselka	2-я Гуселка / 2nd Guselka	Терешка / Tereshka	Терса / Tersa
Елшанка / Elshanka	1	0.34	0.19	0.17	0.29	0.26
Назаровка / Nazarovka		1	0.22	0.19	0.29	0.24
1-я Гуселка / 1 st Guselka			1	0.37	0.13	0.11
2-я Гуселка / 2 nd Guselka				1	0.18	0.11
Терешка / Tereshka					1	0.31
Терса / Tersa						1

Наиболее близки флоры рек Назаровки и Елшанки, 1-й и 2-й Гуселок. 2-я Гуселка значительно отличается во флористическом отношении от других рек МО г. Саратов. Здесь, помимо повсеместно встречающихся видов растений, отмечены *Najas major*, *Scirpus lacustris*, *Lemna trisulca*, *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida*. На состав флоры этой реки оказывает значительное влияние флора Волгоградского водохранилища, при этом основное ее разнообразие приходится на устьевой участок. Видовой состав водных растений исследованных рек в пределах городской территории имеет низкий коэффициент сходства с флорами рек с относительно низкой антропогенной нагрузкой. На значительном протяжении русла городских рек зарегулированы, воды загрязнены химическими и бытовыми отходами, берега забетонированы и здесь в основном обитают виды с широкой экологической валентностью, а наиболее чувствительные виды выпадают. В растительных сообществах малых рек отмечено исключительное преобладание *Ceratophyllum demersum* и *Phragmites australis*, которые выступали в роли доминантов на всех изученных водотоках.

Результаты химического анализа воды показали, что содержание хлоридов и сульфатов во всех реках не превышает предельно-допустимых концентраций (ПДК). Кислородный режим рек благоприятный (величина перманганатной окисляемости 7.1 мг/дм³), содержание общего органического вещества колеблется от 19 до 22 мг/дм³. В некоторых пунктах отмечены максимальные концентрации аммонийного азота (от 0.07 до 0.14 мг/дм³), меди (от 0.02 до 0.05 мг/дм³), железа (от 0.11 до 0.41 мг/л), йода (от 0.4 до 1.4 мг/л), марганца (от 0.11 до 1.9 мг/л), нитритного азота (от 0.016 до 0.025 мг/дм³), превышающие ПДК. Концентрация нефтепродуктов, превышающая ПДК, отмечена во всех пунктах р. Назаровки (2 – 3 ПДК) и некоторых пунктах рек Елшанки (1.2 ПДК) и Гуселок (1.1 ПДК).

По индексу загрязнения воды (ИЗВ) все исследованные реки относятся к 4-му классу качества и оцениваются как загрязненные. При этом наибольшим загрязнением характеризуется р. Назаровка, а наименьшим – р. 1-я Гуселка (табл. 3).

Результаты расчетов индексов на основе структурных параметров макрофитов показали, что экологическое состояние всех изученных рек имеет удовлетворительный экологический статус. При этом значения этого индекса приближаются к нижней границе интервала удовлетворительного экологического состояния. Зна-

чение *IBMR* более десяти баллов характерно для водных экосистем истоков рек, где экологическая ситуация по суммарному антропогенному загрязнению оценивается как «относительно благоприятная». Трофический статус рек – «очень высокий». По показателям структурных параметров макрофитов водные экосистемы рек являются сильно загрязненными, что сопоставимо с их оценкой по гидрохимическим характеристикам.

Табл. 3. Значения некоторых индексов для рек МО г. Саратов
Table 3. Values of some indices for the rivers of Saratov municipal district

Индекс / Index	Река / River			
	Елшанка / Elshanka	Назаровка / Nazarovka	1-я Гуселка / 1 st Guselka	2-я Гуселка / 2 nd Guselka
<i>IBMR</i>	6.4	7	6	6
<i>S_m</i>	6 (грязная / dirty)	6.3 (грязная / dirty)	6.5 (грязная / dirty)	6.7 (грязная / dirty)
ИЗВ	2.76	3.48	2.73	2.89
Класс качества воды по трофности / Water quality class by trophicity	Очень высокая трофность / Very high trophicity	Очень высокая трофность / Very high trophicity	Очень высокая трофность / Very high trophicity	Очень высокая трофность / Very high trophicity
Класс качества воды по ИЗВ / WPI water quality class	IV класс – загрязненная / IV class – polluted	IV класс – загрязненная / IV class – polluted	IV класс – загрязненная / IV class – polluted	IV класс – загрязненная / IV class – polluted
Экологическое состояние / Ecological status	Удовлетворительное / Satisfactory	Удовлетворительное / Satisfactory	Удовлетворительное / Satisfactory	Удовлетворительное / Satisfactory

Примечание. *IBMR* – Indice Biologique Macrophytique en Riviere, *S_m* – макрофитный индекс для малых рек, ИЗВ – индекс загрязненности воды.

Note. *IBMR* – Indice Biologique Macrophytique en Riviere, *S_m* – macrophyte index for small rivers, ИЗВ – water pollution index.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во флорах малых рек МО г. Саратов в отличие от рек Терешка и Терса с относительно низкой антропогенной нагрузкой, наиболее многочисленной группой были гидрофиты, видовой состав остальных экотипов обеднен. Снижение видового разнообразия гелофитов и гигрофитов связано с отсутствием для них возможных мест обитания.

Видовой состав водных растений водотоков в пределах городских территорий и рек с относительно низкой антропогенной нагрузкой имеет низкие коэффициенты сходства. В городских водотоках в основном обитают виды с широкой экологической валентностью. *Ceratophyllum demersum* и *Phragmites australis* выступают в роли доминантов во всех изученных реках. Согласно индексу доминирования Палия – Ковнацки, среди макрофитов изученных рек большинство видов относится к субдоминантам (57.28%) (*Potamogeton perfoliatus*, *Typha angustifolia*, *Lemna trisulca* и др.), к доминантам принадлежат 37.18% (*Phragmites australis*, *Potamogeton pectinatus*, *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*), остальные (11.54%) определены как субдоминанты первого порядка.

По ИЗВ все исследованные реки относятся к 4-му классу качества и оцениваются как загрязненные, что сопоставимо с оценкой рек по биологическому индексу макрофитов (IBMR). Результаты расчетов индексов на основе структурных параметров макрофитов показали, что реки имеют удовлетворительный экологический статус.

Таким образом, выявленные таксономические и экологические характеристики растительных сообществ урбанизированных рек МО г. Саратов в значительной мере определяются степенью антропогенной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Винокурова Н. В., Соловых Г. Н., Донскова С. А. Макрофиты в структуре формирования экосистем р. Урал // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10. С. 108 – 111.

Глотова Н. В. Мониторинг среды обитания: учебное пособие к практическим занятиям. Челябинск: Издательство Южно-Уральского государственного университета, 2006. 22 с.

Государственный водный реестр. 2023. URL: <https://textual.ru/gvr/> (дата обращения: 25.02.2023).

Давиденко Т. Н., Невский С. А., Торгашкова О. Н., Давиденко О. Н. Ботанико-экологический практикум: методы сбора и анализа данных. Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. 67 с.

Дубына Д. В., Гейны С., Стойко С. М., Сытник К. М., Тасенкевич Л. А., Шеляг-Сосонко Ю. Р., Гроудова З., Гусак Ш., Отягелова Г., Эржабкова О. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. Киев: Наукова думка, 1993. 435 с.

Зуева Н. В. Оценка экологического состояния малых рек Северо-Запада России на основе структурных характеристик сообществ макрофитов (на примере Ленинградской области): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2007. 24 с.

Зуева Н. В., Алексеев Д. К., Куличенко А. Ю., Примак Е. А., Зуев Ю. А., Воякина Е. Ю., Степанова А. Б. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений. СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2019. 140 с.

Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1981. 187 с.

Лобкова Г. В., Тихомирова Е. И., Симонова З. А. Оценка воздействия солей тяжелых металлов на фотосинтетическую активность водных растений // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 310 – 318. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-310-318>

Матвеев В. И., Соловьева В. В., Саксонов С. В. Экология водных растений: учебное пособие. 2-е изд., доп. и перераб. Самара: Самарский научный центр РАН, 2005. 282 с.

Палий В. Ф. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоологический журнал. 1961. Т. 60, вып. 1. С. 3 – 12.

Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: Международный университет бизнеса и новых технологий, 2001. 213 с.

Петин А. Н., Лебедева М. Г., Крымская О. В. Анализ и оценка качества поверхностных вод: учебное пособие. Белгород: Белгородский государственный университет, 2006. 252 с.

Порфирьева А. В., Зиятдинова Г. К., Медянцева Э. П., Евтюгин Г. А. Гидрохимический анализ: учеб. пособие. Казань: Издательство Казанского университета, 2018. 88 с.

Свириденко Б. Ф., Мамонтов Т. В., Свириденко Т. В. Использование гидромacroфитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины. Сургут: ООО «Студия рекламы «Матрёшка», 2012. 231 с.

Седова О. В., Лаврентьев М. В. Гидрофильная флора и растительность водоемов и водотоков Национального парка «Хвалынский». Саратов: Амирит, 2021. 147 с.

Седова О. В., Лаврентьев М. В., Чарыев Р. Р. Растительность реки Терсы в пределах Саратовской области // Теоретические проблемы экологии и эволюции. Качество воды и водные биоресурсы (VII Любичевские чтения): материалы международных научных чтений / под ред. Г. С. Розенберга, С. В. Саксонова. Тольятти: Анна, 2020. С. 313 – 315.

Соловьева В. В., Липуров А. Г. Гидробиотика: учебник для высших учебных заведений. Самара: Поволжская государственная социально-гуманитарная академия, 2013. 354 с.

Старчиков А. А., Седова О. В., Лаврентьев М. В. Структура флоры реки Терешки на территории НП «Хвалынский» // Научные труды Национального парка «Хвалынский». Саратов; Хвалынский: Амирит, 2017. Вып. 9. С. 53 – 56.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 990 с.

Чукина Н. В., Борисова Г. Г. Структурно-функциональные показатели высших водных растений из местообитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Биология внутренних вод. 2010. № 1. С. 49 – 56.

Abell J. M., Özkundakci D., Hamilton D. P., Reeves P. Restoring shallow lakes impaired by eutrophication: Approaches, outcomes, and challenges // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2022. Vol. 52, iss. 7. P. 1199 – 1246. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1854564>

Baldantoni D., Maisto G., Bartoli G., Alfani A. Analyses of three native aquatic plant species to assess spatial gradients of lake trace element contamination // Aquatic Botany. 2005. Vol. 83, iss. 1. P. 48 – 60. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.05.006>

Bornette G., Puijalon S. Response of aquatic plants to abiotic factors: A review // Aquatic Sciences. 2011. Vol. 73, iss. 1. P. 1 – 14. <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0162-7>

Ceschin S., Bellini A., Scalici M. Aquatic plants and ecotoxicological assessment in freshwater ecosystems: A review // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28, iss. 5. P. 4975 – 4988. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11496-3>

Haury J., Peltre M.-C., Trémolières M., Barbe J., Thiébaut G., Bernez I., Chatelet P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutartre A., Laplace-Treytore C., Cazaubon A., Lambert-Servien E. A new method to assess water trophy and organic pollution – the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): Its application to different types of river and pollution // Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management / eds. J. M. Caffrey, A. Dutartre, J. Haury, K. J. Murphy, P. M. Wade. Dordrecht: Springer, 2006. P. 153 – 158. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5390-0_22

Jewell M. D., Moorsel S. J. van, Bell G. Geographical distribution of floating aquatic plants in relation to environmental conditions in southern Quebec, Canada // Aquatic Botany. 2023. Vol. 187. Article number 103657. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2023.103657>

Kownacki A. Taxocens of Chironomidae in streams of the Polish High Tatra Mts // Acta Hydrobiologia. 1971. Vol. 13, № 4. P. 439 – 464.

Melzer A., Schneider S. Submerse Macrophytes als Indikatoren der Nährstoffbelastung // Handbuch Angewandte Limnologie / eds. C. Steinberg, W. Calmano, H. Klapper, R.-D. Wilken. Landsberg: Ecomed Verlagsgesellschaft, 2001. Bd. VIII. S. 1 – 13.

Menhinick E. F. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects // Ecology. 1964. Vol. 45, № 4. P. 859 – 861.

Scofield B. D., Fields S. F., Chess D. W. Aquatic macrophytes show distinct spatial trends in contaminant metal and nutrient concentrations in Coeur d'Alene Lake, USA // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30, iss. 25. P. 66610 – 66624. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27211-x>

Singh N. K., Raghubanshi A. S., Upadhyay A. K., Rai U. N. Arsenic and other heavy metal accumulation in plants and algae growing naturally in contaminated area of West Bengal, India // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 130. P. 224 – 233. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.024>

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Staniszewski R., Jusik S. The variability of macrophyte metrics used in river monitoring // *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2009. Vol. 38, iss. 4. P. 117 – 126. <https://doi.org/10.2478/v10009-009-0049-x>

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgola T. Makrofitowa Metoda Oceny Rzek – Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2010. 82 S.

Wiegand G., Gebler D., Van De Weyer K., Birk S. Comparative test of ecological assessment methods of lowland streams based on longterm monitoring data of macrophytes // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 541. P. 1269 – 1281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.005>

Structure of the macrophyte communities of small rivers in Saratov under anthropogenic load

A. S. Belikov[✉], V. A. Boldyrev, O. V. Sedova, O. N. Torgashkova

Saratov State University
83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Received: March 22, 2023 / revised: May 20, 2023 / accepted: May 22, 2023 / published: September 22, 2023

Abstract. The article presents the results of investigations of the flora of small rivers within the city of Saratov (Yelshanka, Nazarovka, 1st Gussyolka, and 2nd Gussyolka). The species composition of aquatic plants of the streams studied is represented by 37 macrophyte species belonging to 23 genera, 17 families and three divisions (Charophyta, Polypodiophyta, and Magnoliophyta). The families Potamogetonaceae, Cyperaceae and Lemnaceae predominate by the number of represented species. The values of the Menchinik index indicate that the greatest floristic diversity is characteristic of the Yelshanka and Nazarovka rivers (3.1 and 3.4, respectively). The species composition of aquatic plants of the studied rivers within the urban area has a low similarity coefficient with the flora of rivers with relatively low anthropogenic load. Hydrophytes are the most numerous ecological group (22 species). According to the Paley–Kownacki dominance index, among the macrophytes of the studied rivers, most species are subdominant (57.28%) (*Potamogeton perfoliatus*, *Typha angustifolia*, *Lemna trisulca*, etc.). 37.18% (*Phragmites australis*, *Potamogeton pectinatus*, *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*) belong to dominants, and the rest (11.54%) is defined as subdominants of the first order. Exceptional predominance is characteristic of *Ceratophyllum demersum* and *Phragmites australis*, which acted as dominants in all studied rivers. A significant part of the rivers is characterized by a low degree of overgrowth by hydrophilous vegetation, from slightly overgrown to not overgrown. The main types of distribution of aquatic and riparian-water vegetation are belted and fragmentary. Macrophyte communities are characterized by a simplified structure (one- or two-tiered), with absolute predominance of one plant species and the presence of two to four associated species with low values of projective coverage. The results of our calculations of indices (macrophyte index for small rivers (S_m), Indice Biologique Macrophytique in Riviere (IBMR)) based on the structural parameters of macrophytes showed that the studied rivers have a satisfactory ecological status.

Keywords: macrophytes, small rivers, hydrophilic flora, dominance index, macrophyte communities, Saratov

For citation: Belikov A. S., Boldyrev V. A., Sedova O. V., Torgashkova O. N. Structure of the macrophyte communities of small rivers in Saratov under anthropogenic load. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 3, pp. 259–273 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-3-259-273>

✉ Corresponding author. Department of Botany and Ecology, Saratov State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Alexander S. Belikov: <https://orcid.org/0000-0002-5359-1065>, a.belik99@mail.ru; Vladimir A. Boldyrev: <https://orcid.org/0000-0003-0322-3755>, boldyrev52@bk.ru; Oksana V. Sedova: <https://orcid.org/0000-0001-9866-6094>, sedova_ov@mail.ru; Olga N. Torgashkova: <https://orcid.org/0000-0002-3478-5526>, torgaschkova88@mail.ru.

REFERENCES

- Vinokurova N. V., Solovovych G. N., Donskova S. A. Macrophytes in the structure of formation of the Ural river ecosystem. *Vestnik of the Orenburg State University*, 2015, no. 10, pp. 108–111 (in Russian).
- Glotova N. V. *Monitoring sredy obitaniia: uchebnoe posobie k prakticheskim zaniatiiam* [Habitat Monitoring: Textbook for practical classes]. Chelyabinsk, South Ural State University Publ., 2006. 22 p. (in Russian).
- Gosudarstvennyi vodnyi reestr [State Water Register]. 2023. Available at: <https://textual.ru/gvr/> (accessed February 25, 2023).
- Davidenko T. N., Nevsky S. A., Torgashkova O. N., Davidenko O. N. *Botaniko-ekologicheskii praktikum: metody sbora i analiza dannykh* [Botanico-ecological Workshop: Methods of Data Collection and Analysis]. Saratov, Izdatel'skii tsentr "Nauka", 2011. 67 p. (in Russian).
- Dubyna D. V., Gainy S., Stoyko S. M., Sytnik K. M., Tassenkevich L. A., Shelyag-Sosonko Y. R., Groudova Z., Husak Sh., Otyagelova G., Erzhabkova O. *Makrofity – indikatory izmenenii prirodnoi sredy* [Macrophytes – Indicators of Changes in the Natural Environment]. Kiev, Naukova dumka, 1993. 435 p. (in Russian).
- Zueva N. V. *Assessment of the Ecological State of Small Rivers of North-West Russia on the Basis of Structural Characteristics of Macrophyte Communities (on the example of the Leningrad Region)*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Geogr.). Saint Petersburg, 2007. 24 p. (in Russian).
- Zueva N. V., Alekseev D. K., Kulichenko A. Yu. Yu. Y., Stepanova A. B. *Bioindikatsiia i biotestirovanie v presnovodnykh ekosistemakh: uchebnoe posobie dlia vysshikh uchebnykh zavedenii* [Bioindication and Biotesting in Freshwater Ecosystems: Textbook for higher educational institutions]. Saint Petersburg, Russian State Hydrometeorological University Publ., 2019. 140 p. (in Russian).
- Katanskaya V. M. *Vysshaya vodnaya rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR* [Higher Aquatic Plants in USSR Continental Water Bodies]. Leningrad, Nauka Publ., 1981. 187 p. (in Russian).
- Lobkova G. V., Tikhomirova E. I., Simonova Z. A. Assessment of the effect of heavy metal salts on the photosynthetic activity of aquatic plants. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 310–318 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-310-318>
- Matveev V. I., Solovieva V. V., Saxonov S. V. *Ekologiia vodnykh rastenii: uchebnoe posobie. 2-e izd., dop. i pererab.* [Ecology of Aquatic Plants: Textbook. 2nd edition, supplement and revision]. Samara, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2005. 282 p. (in Russian).
- Paliy V. F. On quantitative indicators in the processing of faunistic materials. *Zoologicheskii zhurnal*, 1961, vol. 60, iss. 1, pp. 3–12 (in Russian).
- Papchenkov V. G. *Rastitel'nyi pokrov vodoemov i vodotokov Srednego Povolzh'ia* [Vegetation Cover of Water Bodies and Watercourses of the Middle Volga Region]. Yaroslavl, International University of Business and New Technologies Publ., 2001. 213 p. (in Russian).
- Petin A. N. N., Lebedeva M. G., Krymskaya O. V. *Analiz i otsenka kachestva poverkhnostnykh vod: uchebnoe posobie* [Analysis and Assessment of Surface Water Quality: Textbook]. Belgorod, Belgorod State University Publ., 2006. 252 p. (in Russian).
- Porfirieva A. V., Ziyatdinova G. K., Medyantseva E. P., Evtyugin G. A. *Gidrokhimicheskii analiz: uchebnoe posobie* [Hydrochemical Analysis: Textbook]. Kazan, Kazan University Publishing House, 2018. 88 p. (in Russian).
- Sviridenko B. F., Mamontov Yu. S., Sviridenko T. V. *The Use of Hydro-macrophytes in a Comprehensive Evaluation of the Ecological Condition of Water Bodies of the West Siberian*

Plain. Surgut, Limited Liability Company «Studio advertisement “Matryoshka”, 2012. 231 p. (in Russian).

Sedova O. V., Lavrentiev M. V. *Gidrofil'naia flora i rastitel'nost' vodoemov i vodotokov Natsional'nogo parka “Khvalynskii”* [Hydrophilic Flora and Vegetation of Water Bodies and Watercourses of the National Park “Khvalynsky”]. Saratov, Amirit, 2021. 147 p. (in Russian).

Sedova O. V., Lavrentiev M. V., Charyev R. R. Vegetation of the Tersa river within the Saratov region. In: G. S. Rosenberg, S. V. Saxonov, eds. *Theoretical Problems of Ecology and Evolution. Water Quality and Aquatic Bioresources (VII Lyubishchev Readings): Proceedings of the International Scientific Readings*. Togliatti, Anna, 2020, pp. 313–315 (in Russian).

Solovieva V. V., Lapirov A. G. *Gidrobotanika: uchebnik dlia vysshikh uchebnykh zavedenii* [Hydrobotany: Textbook for higher educational institutions]. Samara, Volga State Social and Humanitarian Academy Publ., 2013. 354 p. (in Russian).

Starchikov A. A., Sedova O. V., Lavrentiev M. V. Structure of the flora of the Tereshka River on the territory of the Khvalynsky National Park. *Scientific Papers of Khvalynsky National Park*. Saratov, Khvalynsk, Amirit, 2017, vol. 9, pp. 53–56 (in Russian).

Cherepanov S. K. *Vascular Plants of Russia and Adjacent States (the former USSR)*. Saint Petersburg, Mir i sem'ia-95, 1995. 990 p. (in Russian).

Chukina N. V., Borisova G. G. Structural and functional parameters of higher aquatic plants from habitats differing in levels of anthropogenic impact. *Inland Water Biology*, 2010, vol. 3, no. 1, pp. 44–50.

Abell J. M., Özkundakci D., Hamilton D. P., Reeves P. Restoring shallow lakes impaired by eutrophication: Approaches, outcomes, and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2022, vol. 52, iss. 7, pp. 1199–1246. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1854564>

Baldantoni D., Maisto G., Bartoli G., Alfani A. Analyses of three native aquatic plant species to assess spatial gradients of lake trace element contamination. *Aquatic Botany*, 2005, vol. 83, iss. 1, pp. 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.05.006>

Bornette G., Puijalon S. Response of aquatic plants to abiotic factors: A review. *Aquatic Sciences*, 2011, vol. 73, iss. 1, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0162-7>

Ceschin S., Bellini A., Scalici M. Aquatic plants and ecotoxicological assessment in freshwater ecosystems: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, iss. 5, pp. 4975–4988. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11496-3>

Haury J., Peltre M.-C., Trémolières M., Barbe J., Thiébaud G., Bernez I., Daniel H., Chate-net P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutartre A., Laplace-Treytore C., Cazaubon A., Lambert-Servien E. A new method to assess water trophy and organic pollution – the Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR): Its application to different types of river and pollution. In: J. M. Caffrey, A. Dutartre, J. Haury, K. J. Murphy, P. M. Wade, eds. *Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management*. Dordrecht, Springer, 2006, pp. 153–158. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5390-0_22

Jewell M. D., Moorsel S. J. van, Bell G. Geographical distribution of floating aquatic plants in relation to environmental conditions in southern Quebec, Canada. *Aquatic Botany*, 2023, vol. 187, article number 103657. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2023.103657>

Kownacki A. Taxocens of Chironomidae in streams of the Polish High Tatra Mts. *Acta Hydrobiologia*, 1971, vol. 13, no. 4, pp. 439–464.

Melzer A., Schneider S. Submerse Macrophytes als Indikatoren der Nährstoffbelastung. In: C. Steinberg, W. Calmano, H. Klapper, R.-D. Wilken, eds. *Handbuch Angewandte Limnologie*. Landsberg, Ecomed Verlagsgesellschaft, 2001, Bd. VIII, S. 1–13.

Menhinick E. F. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology*, 1964, vol. 45, no. 4, pp. 859–861.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОФИТОВ МАЛЫХ РЕК

Scofield B. D., Fields S. F., Chess D. W. Aquatic macrophytes show distinct spatial trends in contaminant metal and nutrient concentrations in Coeur d'Alene Lake, USA. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, iss. 25, pp. 66610–66624. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27211-x>

Singh N. K., Raghubanshi A. S., Upadhyay A. K., Rai U. N. Arsenic and other heavy metal accumulation in plants and algae growing naturally in contaminated area of West Bengal, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, vol. 130, pp. 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.024>

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Staniszewski R., Jusik S. The variability of macrophyte metrics used in river monitoring. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2009, vol. 38, iss. 4, pp. 117–126. <https://doi.org/10.2478/v10009-009-0049-x>

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T. *Makrofitowa Metoda Oceny Rzek – Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne*. Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2010. 82 S.

Wiegand G., Gebler D., Van De Weyer K., Birk S. Comparative test of ecological assessment methods of lowland streams based on longterm monitoring data of macrophytes. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 541, pp. 1269–1281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.005>