

© О.Е. ТОКАРЬ

tokarishim@yandex.ru

УДК 504.45 : 574 (571.12)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОМАКРОФИТОВ  
В КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ИШИМА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ**

*АННОТАЦИЯ.* Обобщая количественные сведения о толерантности видов-индикаторов к ведущим факторам водной среды на основе опубликованных научных материалов, дана оценка экологического состояния водных экотопов основных хозяйственно-значимых водных объектов г. Ишима и его окрестностей (река Ишим, река Карасуль, река Мергенка, старица Ишимчик, озеро Аникино, озеро Чертовое) по: данным о видовом составе гидромакрофитов каждого из исследованных водоемов; сведениям об индивидуальной валентности каждого вида по отношению к группам трофности и сапробности; значениям об индикаторном весе (полученным на основе изучения особенностей распределения индивидуальных валентностей по группам трофности и сапробности); на основе анализа верхних значений пределов минерализации и пределов выносливости гидромакрофитов по отношению к величине рН. Полученные материалы позволили оценить водные объекты как евтрофно-мезотрофные, олиго-бета-мезосапробные (старица Ишимчик — альфа-бета-мезосапробная). Вода в большинстве водоемов пресная (в р. Карасуль — мягкая), с низкой минерализацией, умеренно жесткая (в оз. Чертовом — жесткая, солоноватая, со средней минерализацией), активная реакция воды во всех исследуемых водоемах — слабощелочная.

*SUMMARY.* The paper summarizes quantitative data on the tolerance of type-indicators to the leading factors of water environment based on the published scientific evidence. Assessment of ecological condition of water ecotopes of the main economically significant water bodies of Ishim and its surrounding area (the river Ishim, the river Karasul, the river Mergenka, the dead arm of the river Ishimchik, Lake Anikino, Lake Chertovo) is undertaken. The assessment takes into account the following: the data on hydromacrophytes of each of the studied water bodies; the information about individual valence of each species in relation to trophic groups and saprobity; the values of the indicator weight (obtained by studying the distribution of individual valences on trophic groups and saprobity); the analysis of the upper limits of mineralization and endurance limits of hydromacrophytes relative to pH. The data have enabled to characterise the water bodies as eutrophic, mesotrophic, oligo-beta mesosaprobic (the Ishimchik — alpha-beta mesosaprobic). Water in most of the water bodies is fresh (in the Karasul — soft), low mineralized, moderately rigid (in Lake Chertovo — rigid, salty, with an average mineralization), the active reaction of water is slightly alkaline.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Экологическое состояние, водные экотопы, гидромакрофиты.

**KEY WORDS.** Ecological condition, water ecotopes, hydromacrophytes.

В связи с большой антропогенной нагрузкой, испытываемой природными комплексами в последнее время, становится актуальной разработка и апробация методик, позволяющих оценивать экологическое состояние природных и природно-антропогенных ландшафтов. Так как все компоненты природы тесно и неразрывно взаимосвязаны между собой, то нарушения одного компонента вызывает изменение состояния всех остальных. Поэтому, оценивая состояния одного, можно предполагать и изменения других компонентов. Наиболее остро изменения окружающей природной среды отражаются на биотических компонентах, в том числе и на растительном мире.

В последние десятилетия наблюдается прогрессирующее ухудшение экологического состояния внутренних водоемов в Тюменской области, ведущее к упрощению состава водной флоры и растительности, к утрате редких видов и растительных сообществ. Такая ситуация характерна для водоемов г. Ишима.

Гидромакрофиты являются стабилизирующими компонентами водных экосистем, поскольку они образуют многолетние фитоценозы, формирующие и поддерживающие в водных объектах определенное состояние среды, обеспечивая тем самым возможность существования других групп гидробионтов. Гидромакрофиты обладают комплексом адаптаций, определяющих их стабильное выживание при существенно более широких по амплитуде колебаниях факторов среды, происходящих как в течение сезонов одного года, так и в многолетнем плане. Гидромакрофитные ценозы адаптированы к режиму, который сформировался за предшествующие продолжительные временные интервалы. Этот режим выражается определенными диапазонами изменений факторов среды, присущих каждому типу водных объектов. Эта особенность позволяет применять сведения о таксономическом составе гидромакрофитов, о составе и структуре фитоценозов для комплексной оценки состояния водных объектов [1], [2].

В настоящее время накоплены сведения о водной и прибрежно-водной флоре и растительности разнотипных водоемов г. Ишима (старица Ишимчик, оз. Чертовое, р. Ишим, р. Мергенька и р. Карасуль), об экологии и фитоиндикационной значимости отдельных видов [3], [4]. Обобщенные сведения по комплексной оценке экологического состояния водных биотопов, проведенной с использованием методов биоиндикации и биотестирования старицы Ишимчик, оз. Чертового, р. Ишим легли в основу коллективной монографии «Современное состояние наземных и водных экосистем г. Ишима» [4].

Вышеназванные водные объекты играют значимую роль в жизни города. Река Ишим является главной водной артерией и южной границей города, расположенной вдоль левого ее коренного берега. Из реки Ишим осуществляется забор воды для нужд горожан. Река Мергенька течет от юго-западной границы города к северо-западной его части и впадает в р. Карасуль справа, в черте города. Река Карасуль служит северной границей города. Озеро Аникино граничит с г. Ишимом и располагается к северо-западу от него, восточнее городского кладбища; к северной части озера примыкают сельскохозяйственные поля, на берегах юго-западной части — расположен частный сектор. Старица Ишимчик и оз. Чертовое находятся в черте города и включены в план его благоустройства.

**Цель** настоящей работы состояла в оценке экологического состояния водных биотопов участка р. Ишим в черте г. Ишима, рек Карасуль и Мергенька, озер Аникино, Чертовое и старицы Ишимчик по данным фитоиндикации.

**Материалы и методы.** Гидрботанические работы были проведены на водоемах в полевые сезоны 2008-2010 гг. с использованием общепринятых методик [5]. Определение систематической принадлежности макрофитов проведено по [6-8].

*Река Ишим.* Протяженность реки Ишим в пределах городской черты составляет 15 км. Средняя скорость течения реки 0,1-0,2 м/с. Русло шириной 80-100 м, дно песчано-илистое. Берега крутые, обрывистые. Максимальная глубина реки — 10 м, дно песчано-илистое.

*Река Карасуль* является левым притоком р. Ишим, берет свое начало из заболоченного Карасульского озера. Длина реки составляет 128 км (в пределах города — 14 км). Берега крутые. Русло извилистое, шириной 5-20 м. Максимальная глубина 3,0 м. Дно на плесах илистое, на перекатах — песчаное или глинистое.

*Река Мергенька* — правый приток р. Карасуль, вытекает из оз. Мергень. Длина реки 10 км, в границах города — 7 км. Глубина реки в межень редко превышает 0,5 м. Русло шириной 1,0-3,0 м, дно песчано-илистое.

*Озеро Аникино* — котловинное, расположено в пределах I надпойменной террасы р. Ишим. Площадь озера составляет 325,3 тыс. м<sup>2</sup>. Котловинные озера отличаются округлой формой, незначительной глубиной, не превышающей 6 м, с пологими, как правило, заболоченными берегами. Дно озерной котловины блюдцеобразной формы, с постепенным понижением к середине. Происхождение обычно просадочное.

*Старица Ишимчик* расположена в юго-западной части города на пойме реки Ишим. Площадь водного зеркала — 2,8 км<sup>2</sup>. Длина старицы 3,0 км, ширина 20-80 м. Дно илистое. Максимальная глубина 5,0 м.

*Озеро Чертовое* занимает дно обширной просадочной котловины (1 км<sup>2</sup>) на I надпойменной террасе в восточной части города. Площадь озера составляет 0,07 км<sup>2</sup>. Грунт — ил глинистый. Максимальная глубина озера 1,5 м.

Для комплексной оценки экологического состояния водных объектов были использованы методические подходы, приведенные в работах [2; 7]; данные о видовом составе; сведения об индивидуальной валентности каждого вида по отношению к группам трофности и сапробности; значения об индикаторном весе, полученном на основе изучения особенностей распределения индивидуальных валентностей (баллов) по группам трофности и сапробности; верхние значения пределов минерализации; пределы выносливости гидромакрофитов по отношению к величине рН.

На основе полученного общего флористического списка для каждого водоема была произведена оценка биотопов по группам трофности и сапробности с использованием значений средневзвешенных валентностей гидромакрофитов, полученных по формулам:

$$V_t = \sum (v_t J_t) : \sum J_t; V_s = \sum (v_s J_s) : \sum J_s,$$

где  $V_t$  ( $V_s$ ) — средневзвешенная валентность по группам трофности (сапробности),  $v_t$  ( $v_s$ ) — индивидуальные валентности (баллы) по группам трофности (сапробности),  $J_t$  ( $J_s$ ) — индикаторный вес гидромакрофитов, установленный на основе особенностей распределения индивидуальных валентностей по группам трофности (сапробности).

Определение минерализации воды выполнялось по наименьшему из всех приведенных верхних предельных значений минерализации в списках индикаторных видов, составленных для водоемов. Для оценки общей жесткости воды для озер и рек (Ишим и Мергенька) было использовано уравнение регрессии:  $y = 4,6 \times x + 2,8$ , где  $y$  — общая жесткость, мг-экв/л,  $x$  — минерализация, г/л, с учетом того, что полученные фитоиндикационным путем значения минерализации находились в диапазоне от 0,3 до 1,0 г/л. Для оценки общей жесткости воды р. Карасуль — уравнение регрессии:  $y = 4,2 \times x + 0,8$ , так как полученный фитоиндикационным путем показатель минерализации составил 0,2 г/л [2]. Оценка режима рН воды была произведена по максимальному совпадению диапазонов толерантности индикаторных видов к активной реакции среды.

**Результаты.** Всего в составе водной флоры исследуемых водоемов отмечено 54 вида из 36 родов, 26 семейств, 4 отделов (табл. 1).

Таблица 1

**Таксономическая структура водной макрофитной флоры водоемов г. Ишима и его окрестностей**

Отдел, класс	Семейства		Роды		Виды	
	число	%	число	%	число	%
Chlorophyta	2	8	2	6	2	4
2. Charophyta	1	3	1	2	1	2
3. Bryophyta	2	8	2	6	2	4
4. Magnoliophyta	21	81	31	86	49	90
Всего	26	100	36	100	54	100

Видовым разнообразием отличается водная макрофитная флора рек. Общее количество видов составило — 46, из них на исследуемом участке р. Ишим выявлено 23 вида, в р. Карасуль — 37, р. Мергенька — 21. Видовую насыщенность водной макрофитной флоры озер отражают 24 вида, из них в старице Ишимчик описано 23 вида, в оз. Аникино — 22 и в Чертовом — 11 видов.

На основании значений индивидуальных валентностей по группам трофности и индикаторном весе видов гидромакрофитов, подсчитаны средневзвешенные валентности для изученных водных объектов г. Ишима и его окрестностей (табл. 2).

Таблица 2

**Значения средневзвешенных валентностей, полученные на основе данных об индикаторных валентностях по группам трофности и индикаторном весе видов гидромакрофитов для исследованных водоемов г. Ишима и его окрестностей**

Водные объекты	Значения средневзвешенных валентностей ( $V_i$ )		
	Группы трофности		
	Олиготрофная	Мезотрофная	Евтрофная
Река Ишим	0,5	7,9	1,5
Река Карасуль	1,0	6,6	1,8
Река Мергенька	0,7	7,5	1,7
Старица Ишимчик	0,9	7,2	1,7
Озеро Аникино	0,9	6,8	2,2
Озеро Чертовое	0,6	7,0	2,4

По значениям средневзвешенных валентностей, представленных в табл. 2, водные объекты можно охарактеризовать как евтрофно-мезотрофные, так как по средневзвешенным валентностям эти группы явно преобладают над олиготрофной группой.

Распределение средневзвешенных сапробных валентностей ( $V_s$ ) по группам сапробности для исследованных водных объектов представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Значения средневзвешенных валентностей, полученные на основе данных об индикаторных валентностях по группам сапробности и индикаторном весе видов гидромакрофитов для исследованных водоемов г. Ишима и его окрестностей**

Водные объекты	Значения средневзвешенных валентностей ( $V_s$ )				
	Группы сапробности				
	$\chi$	$o$	$\beta$	$\alpha$	$\rho$
Река Ишим	-	1,2	2,4	0,5	0,0
Река Карасуль	0,0	1,4	7,5	0,9	0,0
Река Мергенька	0,0	1,4	7,9	0,6	0,0
Старица Ишимчик	0,0	1,4	7,0	1,8	0,0
Озеро Аникино	0,0	1,1	7,3	0,7	0,0
Озеро Чертовое	0,0	1,5	2,6	1,1	0,1

*Примечание. Группы сапробности:  $\chi$  — ксеносапробная,  $o$  — олигосапробная,  $\beta$  — бета—мезосапробная,  $\alpha$  — альфа—мезосапробная,  $\rho$  — полисапробная*

Согласно данным, приведенным в табл. 3, большинство водоемов (кроме старицы Ишимчик) можно отнести к олиго-бета-мезосапробным. Однако, при сравнении сапробности рек и озер, можно отметить наиболее низкую средневзвешенную валентность в бета-мезосапробной группе для р. Ишим и оз. Чертовое. Для старицы Ишимчик наблюдается более высокая средневзвешенная валентность в альфа-мезосапробной группе в сравнении с олигосапробной группой, чем в других водоемах. Поэтому старица является альфа-бета-мезосапробной.

Показатели минерализации, общей жесткости и активной реакции воды, характеризующие исследованные водоемы г. Ишима и его окрестностей, полученные по данным фитоиндикации, отражены в табл. 4.

Таблица 4

**Оценка экологического состояния биотопов водоемов г. Ишима и его окрестностей на основе данных о минерализации, общей жесткости и активной реакции среды, полученных фитоиндикационным путем**

Водоемы	Минерализация		Общая жесткость воды		Активная реакция	
	Наименьшее значение минерализации из верхних предельных значений, г/л	категория	мг-экв/л	категория	Область максимального совпадения диапазонов pH	категория
Река Ишим	0,6	пресная	5,6	умеренно жесткая	7,6-8,0	слабощелочная

Окончание табл. 4

Река Карасуль	0,2	пресная	1,6	мягкая	7,6	слабощелочная
Река Мергенька	0,6	пресная	5,6	умеренно жесткая	7,6-7,8	слабощелочная
Старица Ишимчик	0,3	пресная	4,2	умеренно жесткая	7,6	слабощелочная
Озеро Аникино	0,6	пресная	5,6	умеренно жесткая	7,6	слабощелочная
Озеро Чертовое	1,0	солончатая	7,4	жесткая	7,6-8,2	слабощелочная

Из табл. 4 видно, что наименьший показатель минерализации установлен для р. Карасуль, берущей начало в заболоченном озере, наибольший — для оз. Чертовое. Следовательно, вода в большинстве водоемов пресная, с низкой минерализацией (значения не превышают 1,0 мг/л), в оз. Чертовом — солончатая, со средней минерализацией.

Для исследуемого участка р. Ишим индикаторное значение имеют виды *Scirpus ehrenbergii* и *Sparganium emersum*, которые в списке выделяются наименьшим (0,6 г/л) из приведенных верхних предельных значений минерализации. Для р. Карасуль роль основного индикаторного вида выполняет *Plagiomnium ellipticum* (наименьшее значение минерализации 0,2 г/л). Для р. Мергенька индикаторными значениями отличаются *Potamogeton compressus*, *Sparganium emersum* и *Agrostis stolonifera* (наименьшее значение минерализации 0,6 г/л).

Минерализацию воды в старице Ишимчик индицирует виды *Drepanocladus aduncus* и *Myriophyllum sibiricum* (наименьшее значение минерализации 0,3 г/л). Для оз. Аникино индикаторными свойствами отличаются *Agrostis stolonifera* и *Carex pseudocyperus* (наименьшее значение минерализации 0,6 г/л). Солончатую воду в оз. Чертовом индицируют виды (*Spirodela polyrhiza*, *Butomus umbellatus* и *Alisma plantago-aquatica*), имеющие наименьшие из приведенных верхних предельных значений минерализации (1,0 г/л).

Величины, характеризующие общую жесткость воды, полученные расчетным путем с применением уравнения регрессии, указывают на то, что вода в большинстве водоемов — умеренно жесткая (5,6 мг-экв/л), в р. Карасуль — мягкая (1,6 мг-экв/л), а в оз. Чертовое — жесткая (7,4 мг-экв/л).

Активная реакция воды в исследуемых водных объектах — слабощелочная, диапазон значений pH 7,6-8,2. Индикаторами слабощелочной реакции в р. Ишим являются виды, для которых значения активной реакции среды (pH 7,6-8,0), являются предельно допустимыми. Это *Potamogeton crispus*, *Nuphar lutea*, *Scirpus ehrenbergii*, *Lemna minor* и *Sparganium emersum*. Для р. Карасуль индикаторными значениями отличаются *Plagiomnium ellipticum*, *Myriophyllum verticillatum*, *Callitriche hermaphroditica*, *C. palustris*, *Potamogeton natans* (область максимального совпадения диапазонов pH 7,6). Активную реакцию биотопов р. Мергенька с диапазоном pH 7,6-7,8 индицируют виды *Lemna minor* и *Potamogeton compressus*.

Индикаторами активной реакции среды биотопов старицы Ишимчик выступают виды *Lemna minor*, *Myriophyllum sibiricum*, *Batrachium circinatum* и *Drepanocladus aduncus*. Для оз. Аникино индикаторными значениями отличаются *Lemna minor* и *Carex pseudocyperus* (область максимального совпадения диапазонов выше названных видов равна значению рН 7,6). Виды *Butomus umbellatus* и *Typha latifolia* являются индикаторами значений кислотности биотопов оз. Чертовое (рН 7,6-8,2).

**Заключение.** Обобщая количественные сведения о толерантности видов-индикаторов к ведущим факторам водной среды на основе опубликованных научных материалов по гидромакрофитам Западно-Сибирской равнины, используя данные о составе водных фитоценозов хозяйственно-значимых водных объектов г. Ишима и его окрестностей, дали оценку экологического состояния водных биотопов по таким факторам водной среды как трофность, сапробность, минерализация, общая жесткость и активная реакция.

Полученные материалы позволяют оценить водные объекты г. Ишима и его окрестностей как евтрофно-мезотрофные. Согласно выполненной оценке сапробности, большинство исследованных водных объектов являются олиго-бета-мезосапробными (кроме старицы Ишимчик), они существенно отличаются пониженной сапробностью от альфа-бета-мезосапробной старицы Ишимчик. Вода в большинстве водоемов пресная, с низкой минерализацией, в оз. Чертовом — солоноватая, со средней минерализацией. Величины, характеризующие общую жесткость воды, полученные расчетным путем по уравнениям регрессии, указывают на то, что вода в большинстве водоемов — умеренно жесткая, в р. Карасуль — мягкая, а в оз. Чертовое — жесткая. По наиболее вероятным диапазонам изменений рН воды на исследуемых водных объектах установлена активная реакция воды, которая определяется как слабощелочная.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокин К.А. Экология высших водных растений. М.: МГУ, 1982. 160 с.
2. Свириденко Б.Ф. Использование гидромакрофитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины / Б.Ф. Свириденко, Ю.С. Мамонтов, Т.В. Свириденко. Омск: Амфора, 2011. 231 с.
3. Токарь О.Е. Таксономический состав водной флоры водоемов г. Ишима и его окрестностей // Труды Рязанского отделения Русского ботанического общества. Вып. 2. Ч. 2. 2010. С. 159-162.
4. Современное состояние наземных и водных экосистем г. Ишима: монография / А.Ю. Левых, О.Е. Токарь, Г.Г. Пузынина, А.С. Красненко, А.В. Ермолаева, Д.О. Шеррер, О.С. Козловцева. Ишим, 2011. 108 с.
5. Катанская, В.М. Методы изучения высшей водной растительности / В.М. Катанская, И.М. Распопов // Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Наука, 1983. С. 163-169.
6. Свириденко, Б.Ф. Гигрофильные мхи Западно-Сибирской равнины: учебное пособие / Б.Ф. Свириденко, Ю.С. Мамонтов. Омск: Амфора, 2010. 134 с.
7. Свириденко Б.Ф. Макроскопические водоросли Западно-Сибирской равнины: учебное пособие по определению макроскопических водорослей / Б.Ф. Свириденко, Т.Ф. Свириденко. Омск: Амфора, 2009. 90 с.
8. Флора Сибири. Новосибирск: Наука, 1988-2003. ТТ. 1-14.

REFERENCES

1. Kokin, K.A. *Jekologija vysshih vodnyh rastenij* [Ecology of higher aquatic plants]. Moscow, 1982. 160 p. (in Russian).
2. Sviridenko, B.F. *Ispol'zovanie gidromakrofitov v kompleksnoj ocenke jekologicheskogo sostojanija vodnyh ob'ektov Zapadno-Sibirskoj ravniny* [The use of hydromacrophytes for complex evaluation of the ecological state of water bodies of Western-Siberian Plain] / B.F. Sviridenko, Ju.S. Mamontov, T.V. Sviridenko. Omsk, 2011. 231 p. (in Russian).
3. Tokar, O.E. Taxonomic composition of water flora of the water bodies in Ishim and its surroundings // *Trudy Rjazanskogo otdelenija Russkogo botanicheskogo obshhestva* [Works of the Ryazan branch of the Russian Botanical Society]. Issue 2. Part 2. Ryazan, 2010. Pp. 159-162. (in Russian).
4. Levyh, A.Ju., Tokar, O.E., Puzynina, G.G., Krasnenko, A.S., Ermolaeva, A.V., Sherrer, D.O., Kozlovceva, O.S. *Sovremennoe sostojanie nazemnyh i vodnyh jekosistem g. Ishima: monografija* [Current state of terrestrial and water ecosystems of the town of Ishim: monograph]. Ishim, 2011. 108 p. (in Russian).
5. Katanskaja, V.M. Methods of higher aquatic plants study / V.M. Katanskaja, I.M. Raspopov // *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij* [Manual on methods of hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Leningrad: Nauka, 1983. Pp. 163-169. (in Russian).
6. Sviridenko, B.F. *Gigrofil'nye mhi Zapadno-Sibirskoj ravniny: uchebnoe posobie* [Hygrophilic mosses of West Siberian Plain: Textbook] / B.F. Sviridenko, Ju.S. Mamontov. Omsk, 2010. 134 p. (in Russian).
7. Sviridenko, B.F. *Makroskopicheskie vodorosli Zapadno-Sibirskoj ravniny: uchebnoe posobie po opredeleniju makroskopicheskikh vodoroslej* [Macroscopic Algae of Western-Siberian Plain: textbook on recognition of macroscopic algae] / B.F. Sviridenko, T.F. Sviridenko. Omsk, 2009. 90 p. (in Russian).
8. *Flora Sibiri* [Siberian flora]. Novosibirsk: Nauka, 1988-2003. Vol. 1-14. (in Russian).