

## ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.90>

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ БЕЛАЯ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН) В РАЙОНЕ ГОРОДА СТЕРЛИТАМАК

Научная статья

Чаус Б.Ю.<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>ORCID : 0000-0003-4465-6872;<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (chaus-str[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье приводится анализ перспективы использования водных макрофитов в ходе мониторинга качества воды в реке Белая в районе города Стерлитамак. Показатели постоянства *Sagittaria sagittifolia*, *Butomus umbellatus*, *Elodea canadensis*, *Najas marina*, *Potamogeton natans*, *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton crispus*, *Stuckenia pectinate*, *Myriophyllum spicatum*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza* и *Ceratophyllum demersum* изучаются в местах расположения государственных водных постов на реке Белая в районе города Стерлитамак в летние месяцы с 2005 по 2022 годы. За данный период времени изучена динамика показателей встречаемости вышеуказанной высшей водной растительности. Рассчитаны корреляционно-регрессионные модели связи показателей встречаемости макрофитов с содержанием гидрохимических поллютантов (соединений *Mn*, *Ni* и *Fe*, нефтепродуктов,  $C_6H_6O$ ,  $NH_4NO_3$ , *Cu*, *Zn*,  $SO_4^{2-}$ , *Cl*,  $H_4N_2O_3$ ), сведения о которых ежегодно публикуются в Государственных докладах «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан». Систематический анализ наличия водных макрофитов и использование их в качестве биоиндикаторов в ходе экологического мониторинга позволит выявлять наиболее опасные для водной биоты поллютанты и оценивать состояние реки Белая в южном промрайоне Республики Башкортостан с экосистемной позиции.

**Ключевые слова:** биоиндикация, высшая водная растительность, река Белая, критерии постоянства вида.

## POSSIBILITIES OF USING HIGHER AQUATIC VEGETATION IN THE ECOLOGICAL WATER QUALITY MONITORING SYSTEM OF THE BELAYA RIVER (REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN) IN THE AREA OF STERLITAMAK

Research article

Chaus B.Y.<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>ORCID : 0000-0003-4465-6872;<sup>1</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

\* Corresponding author (chaus-str[at]mail.ru)

**Abstract**

The article provides a perspective analysis of aquatic macrophytes during water quality monitoring in the Belaya River near the town of Sterlitamak. Persistence values of *Sagittaria sagittifolia*, *Butomus umbellatus*, *Elodea canadensis*, *Najas marina*, *Potamogeton natans*, *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton crispus*, *Stuckenia pectinate*, *Myriophyllum spicatum*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza* and *Ceratophyllum demersum* are studied at locations of State water posts on the Belaya River near Sterlitamak during the summer months from 2005 to 2022. During this period of time, the dynamics of occurrence indicators of the aforementioned higher aquatic vegetation has been studied. Correlation and regression models of relations between occurrence rates of macrophytes and the contents of hydrochemical pollutants (compounds *Mn*, *Ni* and *Fe*, oil products,  $C_6H_6O$ ,  $NH_4NO_3$ , *Cu*, *Zn*,  $SO_4^{2-}$ , *Cl*,  $H_4N_2O_3$ ) are calculated. Information on them is published annually in the State Reports "On the State of Natural Resources and the Environment of the Republic of Bashkortostan". A systematic analysis of the presence of aquatic macrophytes and their use as bioindicators during environmental monitoring will make it possible to identify the pollutants most dangerous for aquatic biota and assess the condition of the Belaya River in the southern industrial area of the Republic of Bashkortostan from an ecosystem position.

**Keywords:** bioindication, higher aquatic vegetation, Belaya River, species persistence criteria.

**Введение**

В настоящее время экологическая оценка качества поверхностных вод осуществляется в основном физико-химическими методами анализа. Но эта методология не даёт характеристику вредоносного влияния ксенобиотиков на биологические составляющие водных экосистем. Решить эту проблему можно применением в системе экологического мониторинга методов биоиндикации [1, С. 41-51]. Один из наиболее важных биокomпонентов в водоёмах – макрофиты, которые тесно связаны с гидрологией и морфометрией водоёма, химизмом воды, наличием донных отложений и рядом других факторов [2, С. 231]. Как считают А.П. Лактионов с соавт. [3] – «именно изменение гидрологического режима в долине Нижней Волги и другая не сознательная деятельность человека создает неблагоприятные условия для существования локальных эндемичных видов долины Нижней Волги». Ранее А.П. Лактионов, Е.В. Мавродиев [4] указывают, что «речь, таким образом, может идти о существенной недооценке разнообразия не только волжской флоры, но, в конечном счете, и в целом флоры России и сопредельных государств».

### Методика проведения работы

Встречаемость представителей высшей водной растительности (далее ВВР) ведётся с 2005 года по настоящее время в июле – августе в местах нахождения государственных водопостов на реке Белая выше (фоновый створ) и ниже (контрольный створ) сбросов сточных вод Стерлитамакского промузла. Виды ВВР определяются в полевых условиях по [5]. Сверка их латинских названий в ходе камеральной обработки проводилась по [6]. В ходе исследований было использовано 2 вида *Nymphaeids* (ризофиты с плавающими на поверхности воды листьями), 7 видов *Elodeids* (ризофиты с удлиненным, облиственным стеблем, но без плавающих листьев) и 3 вида *Microphytoplankton* (плавающие на поверхности или в толще воды растения) (см. табл. 1).

Таблица 1 - Виды макрофитов, использованных в ходе проведения исследований

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.90.1>

Нимфеиды ( <i>Nymphaeids</i> )	Элодеиды ( <i>Elodeids</i> )	Макрофитопланктон ( <i>Microphytoplankton</i> )
Стрелолист обыкновенный ( <i>Sagittaria sagittifolia</i> L., 1753)	Элодея канадская ( <i>Elodea canadensis</i> Michx., 1803)	Ряска малая ( <i>Lemna minor</i> L., 1753)
Сусак зонтичный ( <i>Butomus umbellatus</i> L., 1753)	Наяда морская ( <i>Najas marina</i> L., 1753)	Многокоренник ( <i>Spirodela polyrhiza</i> Schleid., 1839)
-	Рдест пронзеннолистный ( <i>Potamogeton perfoliatus</i> L., 1753)	Роголистник погруженный ( <i>Ceratophyllum demersum</i> L., 1753)
-	Рдест курчавый ( <i>Potamogeton crispus</i> L., 1753)	-
-	Рдест гребенчатый ( <i>Stuckenia pectinata</i> (L.) Börner, 1912)	-
-	Рдест плавающий ( <i>Potamogeton natans</i> L., 1753)	-
-	Уруть колосистая ( <i>Myriophyllum spicatum</i> L., 1753)	-

Показатель встречаемости вида ( $C = n/10$ , где  $n$  — количество пунктов с наличием изучаемого вида) оценивается на десяти пунктах на каждом створе. Исходя из этого показателя растения характеризуются в соответствии с [7, С. 288]: при  $C > 0,5$  виду присваивается категория «*permanent*», если  $C = 0,25—0,5$ , то это соответствует категории «*additional*», а при  $C < 0,25$  – «*random*».

Корреляционно-регрессионные модели связи между «С» изученных макрофитов с содержанием поллютантов в воде реки Белая на фоновом и контрольном створах в районе города Стерлитамак рассчитывались в [8]. Данными по содержанию на данных створах соединений *Mn*, *Ni* и *Fe*, нефтепродуктов,  $C_6H_6O$ ,  $NH_4NO_3$ , *Cu*, *Zn*,  $SO_4^{2-}$ , *Cl*,  $H_4N_2O_3$  служили сведения из [9].

### Результаты исследований и их обсуждение

Среднее течение реки Белая по видовому составу ВВР можно охарактеризовать, как нимфеидноэлодеидную зону, представители которой на некоторых участках образуют мощные биофильтры для многих поллютантов [10, С. 35-39], [11, С. 59-73]. ВВР в реке Белая в районе города Стерлитамак создаёт экотопы для биоценозов, как с одноярусными, так и двухярусными группировками *Nymphaeids* (стрелолист обыкновенный, сусак зонтичный) и *Elodeids* (элодея канадская, наяды морская, уруть колосистая, рдест плавающий, рдест пронзеннолистный, рдест курчавый и рдест гребенчатый).

За 17 лет (2005-2022 гг.) проведения учёта наличия ВВР в реке Белая в районе города Стерлитамак (см. рис.) можно констатировать, что по средним значениям «С» макрофиты на фоновом и контрольном участках могут быть отнесены, как к категории «*permanent*», так и к категориям «*additional*» и «*random*» (см. табл.2).

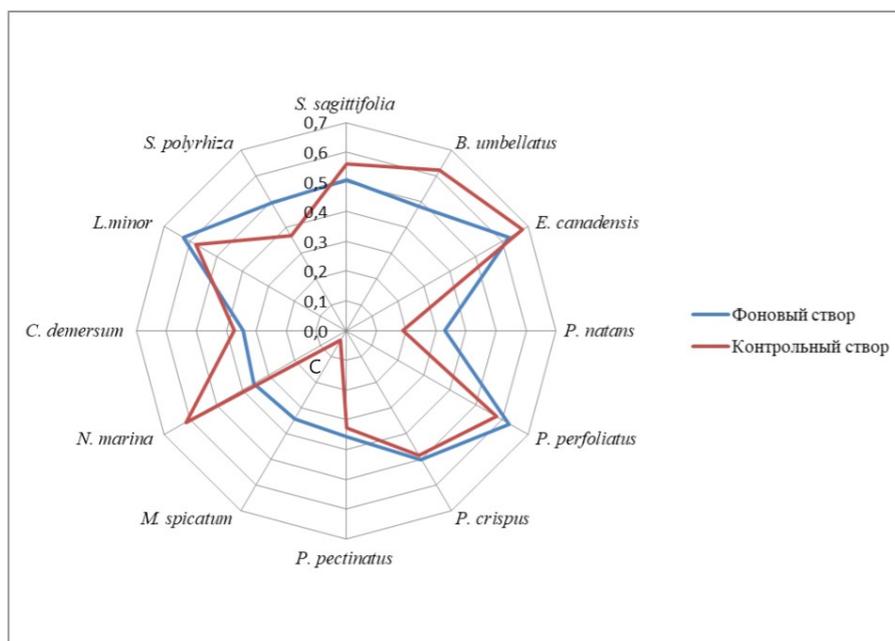


Рисунок 1 - Средние показатели «С» видов ВВР в реке Белая на фоновом и контрольном участках в районе города Стерлитамак за период с 2005 по 2022 гг  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.90.2>

Таблица 2 - Категории постоянства видов ВВР в реке Белая в районе города Стерлитамак с 2005 по 2022 гг.  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.132.90.3>

Створ	Категория постоянства		
	<i>Permanent</i>	<i>Additional</i>	<i>Random</i>
Фоновый створ	<i>B. umbellatus</i> , <i>E. canadensis</i> , <i>P. perfoliatus</i> , <i>L. minor</i>	<i>S. sagittifolia</i> , <i>P. natans</i> , <i>P. crispus</i> , <i>P. pectinatus</i> , <i>M. spicatum</i> , <i>N. marina</i> , <i>C. demersum</i> , <i>S. polyrhiza</i>	-
Контрольный створ	<i>B. umbellatus</i> , <i>P. perfoliatus</i> , <i>N. marina</i> , <i>L. minor</i>	<i>S. sagittifolia</i> , <i>E. canadensis</i> , <i>P. crispus</i> , <i>P. pectinatus</i> , <i>C. demersum</i> , <i>S. polyrhiza</i>	<i>P. natans</i>

По результатам исследований к категории «*permanent*» на фоновом створе реки Белая у города Стерлитамак относятся: *B. umbellatus*, *E. canadensis*, *P. perfoliatus*, *L. minor*, в то время, как на контрольном створе – *B. umbellatus*, *P. perfoliatus*, *N. marina*, *L. minor*. Категория «*additional*» на фоновом створе представлена *S. sagittifolia*, *P. natans*, *P. crispus*, *P. pectinatus*, *M. spicatum*, *N. marina*, *C. demersum*, *S. polyrhiza*, а на контрольном створе – *S. sagittifolia*, *E. canadensis*, *P. crispus*, *P. pectinatus*, *C. demersum*, *S. polyrhiza*. Рдест плавающий фиксируется на контрольном створе как случайный вид.

Кроме того можно отметить, что присутствие наяды морской и рдеста гребенчатого характеризует хлоридные воды, а массовое развитие ряски малой – связано с эвтрофированием и сельскохозяйственным загрязнением водоёма. Также об антропогенном загрязнении свидетельствует массовое развитие стрелолиста обыкновенного, элодеи канадской и роголистника погруженного [12].

Корреляционный анализ показал, что на фоновом створе в реке Белая выше города Стерлитамак корреляционные связи между «С» ВВР с содержанием поллютантов не обнаруживались. Но таковые прослеживаются в реке Белая на контрольном створе для *N. marina* и *L. minor* с содержанием *Fe* ( $r = 0,81$ , коэффициент детерминации ( $R^2$ ) = 0,65 и  $r = 0,88$ ,  $R^2 = 0,77$  соответственно).

Уравнение линейной регрессии связи встречаемости наяды морской ( $Y$ ) со среднегодовым содержанием *Fe* (в кратности превышения ПДК) ( $x$ ) в воде реки Белая на контрольном участке выше города Стерлитамак имеет следующий вид:  $Y = 0,09x + 0,27$  ( $R^2 = 0,65$ ; средняя ошибка аппроксимации = 9,91%; критерии Фишера: фактический (18,76) и критический (4,96)).

Уравнение линейной регрессии связи встречаемости ряски малой ( $Y$ ) со средне-годовым содержанием *Fe* (в кратности превышения ПДК) ( $x$ ) в воде реки Белая контрольном створе ниже сброса сточных вод города Стерлитамак

имеет следующий вид:  $Y = 0,15x - 0,06$  ( $R^2 = 0,77$ ; средняя ошибка аппроксимации = 14,64%; критерии Фишера: фактический (32,91) и критический (4,96).

По показателям гидрохимического нормирования качества воды рыбохозяйственных водоёмов  $Fe$  относится к 4 классу опасности, ПДК которого = 0,1 мг/л.

Построенные регрессионные модели позволяют индцировать содержание  $Fe$  в реке Белая на контрольном створе в районе города Стерлитамак на уровне 1 ПДК по «С» наяды морской равного 0,4, а по «С» ряски малой равного 0,2.

### Закключение

Таким образом, систематический учёт наличия ВВР и использование их в качестве биоиндикаторов в ходе экологического мониторинга позволит выявлять наиболее опасные для водной биоты поллютанты, разрабатывать технологию снижения их содержание в водоёмах и оценивать состояние реки Белая в южном промрайоне Республики Башкортостан с экосистемной позиции.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
2. Гигевич Г.С. Высшие водные растения Беларуси: Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Г.С. Гигевич — Минск: БГУ, 2001. — 231 с.
3. Лактионов А.П. Распространение лотоса орехоносного (*Nelumbo nucifera* Gaertn) — как один из возможных показателей антропогенной трансформации флоры. / А.П. Лактионов, В.Н. Пилипенко, С.Р. Кособокова // Астраханский вестник экологического образования. — 2019. — № 2 (50). — с. 214-224.
4. Лактионов А.П. О некоторых результатах исследований эндемизма флоры цветковых растений долины нижней Волги. / А.П. Лактионов, Е.В. Мавродиев // Экологические проблемы бассейнов крупных рек. Материалы международной конференции, приуроченной к 35-летию Института экологии Волжского бассейна РАН и 65-летию Куйбышевской биостанции; под ред. Розенберг Г.С., Саксонов С.В. — Москва: Анна, 2018. — с. 182-184.
5. Алексеев Ю.Е. Определитель высших растений Башкирской АССР / Ю.Е. Алексеев, А.Х. Галева, И.А. Губанов — М.: Наука, 1988. — 316 с.
6. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов — Санкт-Петербург: Мир и семья, 1995. — 992 с.
7. Степановских А.С. Экология: Учебник для вузов / А.С. Степановских — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 288 с.
8. МНК и регрессионный анализ Онлайн + графики — [Электронный ресурс] // Математический форум Math Help Planet. — 2020. — URL: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=onlayn-mnk-iregressionniy-analiz>. (дата обращения: 25.04.23)
9. Государственные доклады «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2005-2021 годы» [Электронный ресурс] // Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. — 2022. — URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/>. (дата обращения: 25.04.23)
10. Чаус Б.Ю. Оценка биоэкологического состояния реки Белой (Республика Башкортостан) по показателям обилия высшей водной растительности. / Б.Ю. Чаус // Путь науки. Международный научный журнал. — 2015. — № 11 (21). — с. 35-39.
11. Горлова Р.Н. Макрофиты — индикаторы состояния водоема. / Р.Н. Горлова // Водные ресурсы. — 1992. — № 6. — с. 59-73.
12. Садчиков А.П. Экология прибрежно-водной растительности / А.П. Садчиков, М.А. Кудряшов — М.: НИИ-Природа: РЭФИА, 2004. — 220 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Shitikov V.K. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody' sistemnoj identifikacii [Quantitative Hydroecology: System Identification Methods] / V.K. Shitikov, G.S. Rozenberg, T.D. Zinchenko — Tol'yatti: IE'VB RAN, 2003. — 463 p. [in Russian]
2. Gigevich G.S. Vy'sshie vodny'e rasteniya Belarusi: E'kologo-biologicheskaya karakteristika, ispol'zovanie i oxrana [Higher Aquatic Plants of Belarus: Ecological and Biological Characteristics, Use and Protection] / G.S. Gigevich — Minsk: BGU, 2001. — 231 p. [in Russian]
3. Laktionov A.P. Rasprostranenie lotosa orexonosnogo (*Nelumbo nucifera* Gaertn) — kak odin iz vozmozhny'x pokazatelej antropogennoj transformacii flory' [Distribution of *Nelumbo nucifera* Gaertn as a Possible Indicator of Anthropogenic Flora Transformation]. / A.P. Laktionov, V.N. Pilipenko, S.R. Kosobokova // Astraxanskij vestnik e'kologicheskogo obrazovaniya [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]. — 2019. — № 2 (50). — p. 214-224. [in Russian]

4. Laktionov A.P. O nekotoryx rezul'tatax issledovanij e'ndemizma flory' czvetkovy'x rastenij doliny' nizhnej Volgi [On Some Results of Studies on Endemism of Flora of Flowering Plants of the Lower Volga Valley]. / A.P. Laktionov, E.V. Mavrodiev // Ecological Problems of Large River Basins. Proceedings of the International Conference dedicated to the 35th anniversary of the Volga Basin Ecology Institute of RAS and the 65th anniversary of Kuibyshev Biostation; edited by Rozenberg G.S., Saksonov S.V. — Moskva: Anna, 2018. — p. 182-184. [in Russian]
5. Alekseev Yu.E. Opredelitel' vy'sshix rastenij Bashkirskoj ASSR [Identifier of Higher Plants of the Bashkir ASSR] / Yu.E. Alekseev, A.X. Galeeva, I.A. Gubanov — M.: Nauka, 1988. — 316 p. [in Russian]
6. Cherepanov S.K. Sosudisty'e rasteniya Rossii i sopredel'ny'x gosudarstv (v predelax by'vshego SSSR) [Vascular Plants of Russia and Neighbouring States (within the former USSR)] / S.K. Cherepanov — Sankt-Peteburg: Mir i sem'ya, 1995. — 992 p. [in Russian]
7. Stepanovskix A.S. E'kologiya: Uchebnik dlya vuzov [Ecology: Textbook for universities] / A.S. Stepanovskix — M.: YUNITI-DANA, 2001. — 288 p. [in Russian]
8. MNK i regressionny'j analiz Onlajn + grafiki – [Online ANC and Regression Analysis + Graphs -] [Electronic source] // Maths forum Math Help Planet. — 2020. — URL: <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=onlayn-mnk-iregressionny-analiz>. (accessed: 25.04.23) [in Russian]
9. Gosudarstvenny'e doklady' «O sostoyanii prirodny'x resursov i okruzhayushhej sredy' Respubliki Bashkortostan v 2005-2021 gody'» [State reports "On the State of Natural Resources and the Environment of the Republic of Bashkortostan in 2005-2021"] [Electronic source] // Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Bashkortostan. — 2022. — URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/>. (accessed: 25.04.23) [in Russian]
10. Chaus B.Yu. Ocenka bioe'kologicheskogo sostoyaniya reki Beloj (Respublika Bashkortostan) po pokazatelyam obiliya vy'sshej vodnoj rastitel'nosti [An Assessment of the Bio-ecological State of the Belaya River (Republic of Bashkortostan) in Terms of the Abundance of Higher Water Vegetation]. / B.Yu. Chaus // Put' nauki. Mezhdunarodny'j nauchny'j zhurnal [The Way of Science. International Research Journal]. — 2015. — № 11 (21). — p. 35-39. [in Russian]
11. Gorlova R.N. Makrofity' – indikatory' sostoyaniya vodoema [Macrophytes – Indicators of the Condition of Water Body]. / R.N. Gorlova // Vodny'e resursy' [Water Resources]. — 1992. — № 6. — p. 59-73. [in Russian]
12. Sadchikov A.P. E'kologiya pribrezhno-vodnoj rastitel'nosti [Ecology of Coastal-Water Vegetation] / A.P. Sadchikov, M.A. Kudryashov — M.: NIA–Priroda: RE'FIA, 2004. — 220 p. [in Russian]