

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-827

УДК 574.4



Научный обзор

БИОИНДИКАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФОНОВЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ПРИРОДНИКОВЫХ УРОЧИЩ КАК ОСНОВА ПРОСПЕКТИВНОГО БИОМОНИТОРИНГА

О.А. Соболева, Е.В. Ноздрачева, Л.Н. Анищенко

В Нечерноземье РФ более 14 лет создаётся база долговременных наблюдений за состоянием родников как наиболее ценного элемента уникальных ландшафтов экотонных зон. Выполненные многолетние исследования по биохимическим особенностям фоновых видов растений родниковых урочищ создали основу биоиндикации общего состояния ручьёв ключей по активности антиоксидантной системы у семи биоиндикаторов. Цель работы – представить биохимические особенности фоновых видов урочищ родников и ручьёв для биоиндикации в системе перспективного биомониторинга родников. В результате применения маршрутных, биохимических методов исследования доказано, что для биомониторинговых исследований целесообразно применять показатели активности оксидоредуктаз фоновых видов родниковых урочищ ввиду индивидуальной видовой резистентности. Ряд чувствительности фоновых видов травянистых растений к значительной антропогенной нагрузке, в том числе и химическому загрязнению вод родников, основанной на степени уменьшения активности полифенолоксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности растений к стрессовым факторам по степени увеличения каталазы (активности каталазы): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности к общей антропогенной нагрузке, в том числе и по химическому загрязнению вод по степени уменьшения пероксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*.

Ключевые слова: биохимические показатели; биомасса растений; природниковые урочища; биоиндикация; Нечерноземье; Российская Федерация

Для цитирования. Соболева О.А., Ноздрачева Е.В., Анищенко Л.Н. Биоиндикационные показатели фоновых видов растений природниковых урочищ как основа проспективного биомониторинга // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 142-165. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-827

Scientific Review

TO THE BIOINDICATION INDICATORS OF BACKGROUND PLANT SPECIES IN NATURAL STOCKS AS THE BASIS OF PROSPECTIVE BIOMONITORING

O.A. Soboleva, E.V. Nozdracheva, L.N. Anishchenko

*In the Non-Black Earth Region of the Russian Federation, for more than 14 years, a database of long-term observations of the state of springs has been created as the most valuable element of the unique landscapes of ecotone zones. Long-term studies carried out on the biochemical characteristics of background plant species in spring tracts created the basis for bioindication of the general condition of spring streams based on the activity of the antioxidant system in seven bioindicators. The purpose of the work is to present the biochemical features of the background species of springs and streams for bioindication in the system of prospective biomonitoring of springs. As a result of the use of route, biochemical research methods, it has been proven that for biomonitoring studies it is advisable to use indicators of the activity of oxidoreductases of background species of spring tracts due to individual species resistance. A series of sensitivity of background species of herbaceous plants to significant anthropogenic load, including chemical pollution of spring waters, based on the degree of decrease in polyphenoloxidase activity: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. A series of plant sensitivity to stress factors according to the degree of increase in catalase (catalase activity): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. A series of sensitivity to the general anthropogenic load, including chemical water pollution according to the degree of peroxidase reduction: *Agrostis**

stolonifera < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*.

Keywords: biochemical indicators; plant biomass; natural tracts; bioindication; Non-Black Earth Region; Russian Federation

For citation. Soboleva O.A., Nozdracheva E.V., Anishchenko L.N. To the Bioindication Indicators of Background Plant Species in Natural Stocks as the Basis of Prospective Biomonitoring. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 142-165. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-827

Введение

Биоиндикация процессов и явлений зарекомендовала себя в огромном числе работ, связанных с проведением проспективных наблюдений и диагностикой состояния наземно-воздушной, почвенной и водной среды обитания. Особое направление изысканий представлено установление особенностей биохимических адаптаций организмов, в частности, по ферментам антиоксидантной системы (АСм), которые регулируют метаболизм для достижения гомеостаза при стрессовом воздействии [22, 23]. Компоненты АСм понижают активность цепных реакций окисления, нейтрализуя супероксидный радикал и перекисные продукты, тем самым поддерживая различные функции организма. Наиболее показательным диагностическим признаком у растений различных жизненных форм, экологических групп, систематических категорий определяют ферменты группы оксидоредуктаз – каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, которые повышают системы детоксификации, и опосредованно – формируют адаптационный комплекс [2-4, 12, 15]. Каталаза имеет высокую специфичность к H_2O_2 , открыта ранее других ферментов и определение стрессового воздействия по активности этого фермента показано в более чем 50 работах за последнее десятилетие: присутствие в фотосинтетических, проводящих тканях, семенах и молодых побегах защищает растения от необратимых реакций.

Пероксидаза нейтрализует H_2O_2 и окисляет фенольные соединения – отмечены факты как российскими, так и зарубежными исследователями по динамике активности фермента в онтогенезе растительных форм. Полифенолоксидаза – группа биологически активных веществ АСм, содержащих медь, вовлечена в образование пигментов, защиты от патогенов, задерживая их проникновение в клеточную систему. Однако до настоящего времени нет прямого механизма, объясняющего связь между этим ферментом и абиотическим стрессом [8-11, 16, 19-21]. Для древесных и

кустарниковых растений, некоторых травянистых растений отмечена повышенная концентрация компонентов АСм при значительном и среднем загрязнении среды, в местах формирования структурных аномалий, в период камбиального роста [3, 7, 13, 14, 17, 18].

В староосвоенном регионе Нечерноземья РФ – Брянской области – биохимические данные по ферментам АСм в растительной биомассе неизвестны. Также диагностика состояний местообитаний уникальных экосистем ручьёв и ключей должна проводиться комплексно, в том числе и по биохимическим показателям у биоиндикаторов – водных и прибрежно-водных травянистых растений. Для дополнения комплексного мониторинга была поставлена цель работы – представить биохимические особенности фоновых видов урочищ родников и ручьёв для биоиндикации в системе проспективного биомониторинга родников.

В связи с реализацией обширной программы долговременных наблюдений за состоянием родников – ручьёв и ключей – местообитаний разной степени антропогенной нагрузки, целесообразно начать строить биомониторинговую базу именно с биохимических показателей фоновых видов растений. Определённые показатели состояния АСм для цветковых растений и мохообразных в местообитаниях ручьёв и ключей для биоиндикации – дополнение к созданной системе мониторинга родников Нечерноземья.

Методы, методики и материалы работы

В ходе многолетних исследований выявлялись биохимические особенности биомассы фоновых видов растений различных семейств: определялась активность пероксидазы, каталазы, полифенолоксидазы в биомассе с использованием спектрофотометрического метода [1, 5].

В исследованиях использовано 7 фоновых видов растений, произрастающих в первой и второй зоне санитарной охраны родников в соответствующих местообитаниях: 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Для сбора биоматериала определили родниковые урочища, выделенные по ландшафтному признаку и степени антропогенной нагрузки; учитывали и рекомендации о классификациях и критериях деления зарубежных и российских авторов [6]. Группы родниковых урочищ (РУ) по степени антропогенной нагрузки [6]:

1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку. 1.1 «придорожные» родники, расположенные вблизи автострад, каптированы. Хи-

мические показатели вод отличаются от нормативных: родник г. Брянск, памятник Болгарским патриотам; родник на трассе с. Нов.Халеевичи Стародубский район; Мякишевский Родник, Выгоничский район; родник у д. Тельча, Клетнянский район; родник у д. Новые Ивайтёнки. 1.2 РУ, на которых соорудили запруды для создания искусственных водных объектов; родники староосвоенных сельскохозяйственных земель: испытывают пасторальную, рекреационную нагрузку, часто каптированы, к этим родникам относят родники, расположенные в сельских населённых пунктах, на территориях с интенсивным земледелием. Исследования на родниках: родник в пос. Коммуна Пчела, Брасовский район, родник дер. Рясники, Карачевский район; родник с. Голубея, Дубровский район; родник д. Игрушино, Почепский район; родник д. Никольская Слобода, Жуковский район; родник с. Супонево, ул. Тимоновская, Брянский район.

2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, расположены в населённом пункте (крупном или среднем) или в радиусе 1,5-2 км от него, часто каптированы, имеют рекреационное значение, историческое, культурное. Исследования осуществлялись: родник в лесопарке Роща Соловьи, г. Брянск; родник Подарь, родник Белая гора, г. Брянск, родник пос. Чайковичи, г. Брянск; родник пгт Выгоничи, Выгоничский район; родник в парке Звёздный, г. Брянск

3 РУ, испытывающие слабое влияние антропогенной нагрузки, к которым относятся родники в лесу, в балках, пластовые выходы подземных вод, родниковые урочища обладают высокой эстетической ценностью: родник д. Ольгино, Комаричский район; родник Серебряный ключ, д. Ст. Кисловка, Суражский район; родники у д. Радутино, Трубчевский район.

4 РУ, испытывающие среднюю антропогенную нагрузку, к группе отнесли родники культовых мест – удалённых монастырей, церковных комплексов, родники всегда каптированы: родник мучеников Фрола и Лавра, с. Рёвны, Навлинский район; родник Знамение, ур. Рясник, Рогнединский район.

Результаты работы и обсуждение

Биохимический анализ фоновых видов растений природниковых урочищ в целях биоиндикации осуществлён по показателям пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы в фитомассе фоновых представителей природниковых сообществ.

В таблице 1 приведены результаты исследований на содержание в пробе пероксидазы в биомассе модельных растений, которые могут служить биоиндикаторами качества вод (и грунта) в условиях Брянской области.

Результаты обобщены за период исследований 2021-2023 гг. Для исследований подбирались родниковые урочища, в сообществах которых присутствовали фоновые виды травянистых растений – из отдела цветковых, мохообразных: Учитывая фоновую встречаемость видов в природниковых сообществах, реакция их на стрессовые условия может быть использована для биотестирования при установлении антропогенной нагрузки.

Таблица 1.

Средние значения содержания пероксидазы в фитомассе травянистых растений природниковых урочищ в условиях Брянской области

№ п/п	Растения	Содержание (M± m) пероксидазы, мкмоль/г мин на сыр. массу		Коэффициент устойчивости (КУ)
		Родник д. Ольгино (Комаричский район)	опыт	
1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	2,29±0,07	5,50±2,5	2,40
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	2,08±0,06	4,90±2,5	2,36
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,80±0,05	4,20±2,3	2,33
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,62±0,08	3,68±3,1	2,27
5	<i>Lycopus europaeus</i>	1,40±0,07	1,80±1,2	1,29
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,30±0,08	1,60±2,3	1,23
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,10±0,10	1,30±3,0	1,18
2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	2,29±0,07	4,58±0,02	2,00
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	2,08±0,06	3,95±0,02	1,89
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,80±0,05	3,06±0,04	1,70
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,62±0,08	2,50±0,05	1,54
5	<i>Lycopus europaeus</i>	1,40±0,07	1,71±0,05	1,22
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,30±0,08	1,51±0,06	1,16
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,10±0,10	1,24±0,08	1,13
1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	2,29±0,07	4,31±0,02	1,88
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	2,08±0,06	3,64±0,02	1,75
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,80±0,05	2,98±0,04	1,66
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,62±0,08	2,35±0,05	1,45
5	<i>Lycopus europaeus</i>	1,40±0,07	1,63±0,05	1,16
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	1,30±0,08	1,48±0,06	1,14
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,10±0,10	1,21±0,08	1,10

На рисунке 1 отражены обобщённые средние значения активности пероксидазы в фитомассе прибрежно-водных растений разных систематических групп на примере местообитаний родниковых урочищ (РУ), испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и контроля. Выявляется ряд по степени увеличения активности аминокислоты в биомассе побегов модельных растений, а, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

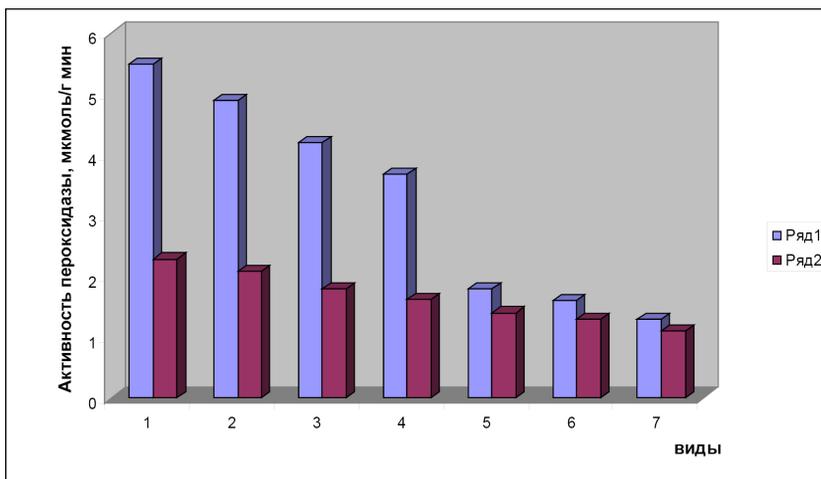


Рис. 1. Активность пероксидазы (μмоль/г мин на сырую массу) в фитомассе растений в различных по антропогенной нагрузке родниковых урочищ

Примечание: **Ряд 1 (местообитание: родники, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку):** 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Ряд 2 (контроль- родник у д. Ольгино): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Для местообитаний РУ прибрежно-водные цветковые растения и мохообразные распределены по ряду чувствительности к общей антропогенной нагрузке, в том числе и по химическому загрязнению вод по степени уменьшения пероксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. Аналогичные тенденции отмечены для растений из других местообитаний в РУ.

Анализ результатов исследований показал, что активность пероксидазы в фитомассе растений семейства Злаковые (*Agrostis stolonifera*, *Scirpus sylvaticus*) во всех местообитаниях РУ, различных по степени антропогенной нагрузки, в том числе и по химическому состоянию вод, достоверно выше контроля в 1,10-2,40 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99\%$). На рисунке 2 показано, что максимальная средняя активность пероксидазы отмечена в местообитаниях родников испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку («придорожные» родники, расположенные вблизи автострад, в том числе и родники городов) (3,28 мкмоль/г мин).

На рисунке 2 показана средняя активность пероксидазы в побеговой биомассе растений различных систематических групп, произрастающих в местообитаниях трёх основных типов.

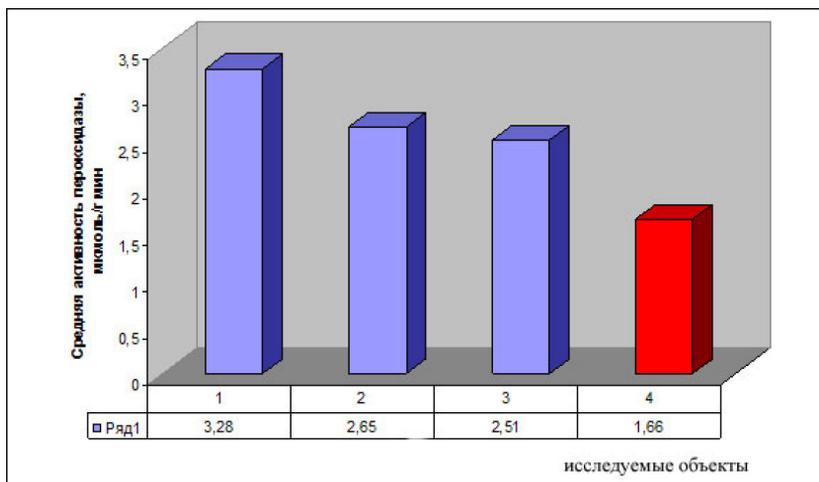


Рис. 2. Средняя активность пероксидазы фоновых видов растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 Родниковые урочища (РУ), испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель, 4 – контроль

Составлен ряд районов по степени уменьшения КУ по активности аминокислоты в биомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ: РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (рисунок 3).

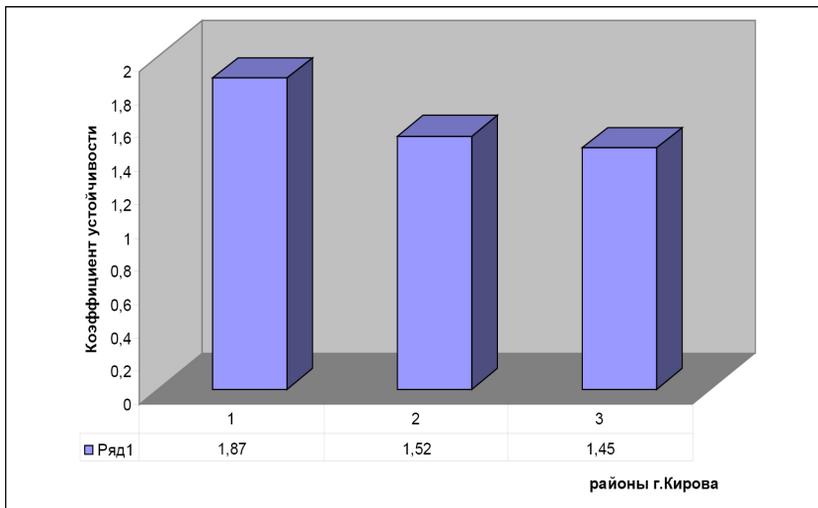


Рис. 3. Коэффициент устойчивости (КУ) (по активности пероксидазы) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель

Анализ активности каталазы в фитомассе фоновых видов растений в природниковых урочищах показал значительную динамику показателей. В таблице 2 приведены результаты исследований на содержание в пробах биомассы травянистых растений каталазы в местообитаниях 3-х групп РУ (рисунок 4).

Таблица 2.

Средние значения содержания в пробе каталазы в фитомассе травянистых растений природниковых урочищ в условиях Брянской области

№ п/п	Растения	Активность каталазы ((M± m), мкмоль O ² / г мин на сыр. массу		Коэффициент устойчивости (КУ)
		Родник д. Ольгино (Комаричский район), контроль	опыт	
1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	7,2±0,07	4,8±2,5	1,50
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	8,1±0,06	6,18±2,5	1,31
3	<i>Rorippa amphibia</i>	17,4±0,05	13,49±2,3	1,29

4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	19,8±0,08	15,97±3,1	1,24
5	<i>Lycopus europaeus</i>	21,6±0,07	18,15±1,2	1,19
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	26,7±0,08	23,84±2,3	1,12
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	23,5±0,10	20,08±3,0	1,17
2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	7,2±0,07	5,07	1,45
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	8,1±0,06	6,28	1,29
3	<i>Rorippa amphibia</i>	17,4±0,05	14,15	1,23
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	19,8±0,08	16,78	1,18
5	<i>Lycopus europaeus</i>	21,6±0,07	18,78	1,15
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	26,7±0,08	24,42	1,04
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	23,5±0,10	21,17	1,11
1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	7,2±0,07	5,26	1,37
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	8,1±0,06	6,53	1,24
3	<i>Rorippa amphibia</i>	17,4±0,05	14,50	1,20
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	19,8±0,08	17,06	1,16
5	<i>Lycopus europaeus</i>	21,6±0,07	19,12	1,13
6	<i>Leptodictyum riparium</i> .	26,7±0,08	25,19	1,05
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	23,5±0,10	21,96	1,07

На рисунке 4 показана активность каталазы в фитомассе растений на примере РУ, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и контроля. Выявляется ряд по степени уменьшения активности аминокислоты в побеговой биомассе растений (обратная зависимость), а, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

Для изучаемых местообитаний составлен ряд чувствительности растений к изменению состояний местообитаний по степени увеличения каталазы (активности каталазы): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. Аналогичные тенденции отмечены для растений во всех изученных местообитаниях природниковых урочищ.

На рисунке 5 отражены коэффициенты устойчивости (КУ, по активности каталазы) видов травянистых растений, произрастающей в 3-х местообитаниях природниковых урочищ.

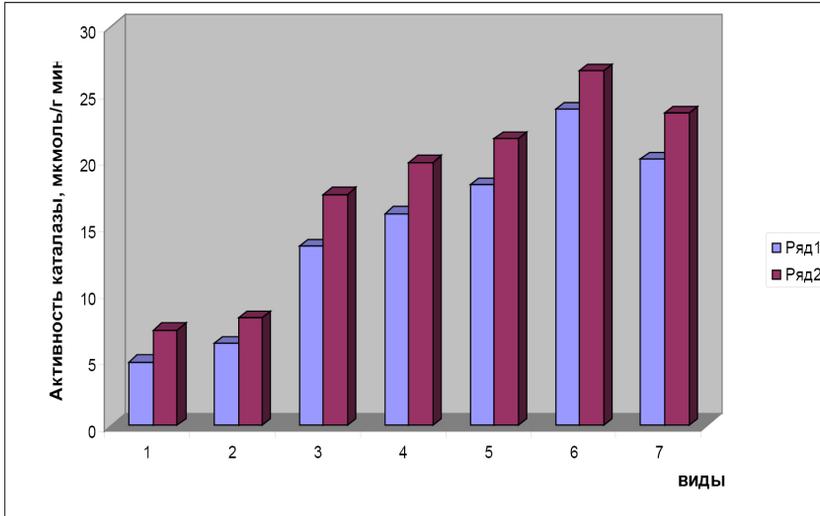


Рис. 4. Активность каталазы (мкмоль O_2 /г мин на сыр. массу) в фитомассе растений в различных по антропогенной нагрузке родниковых урочищах

Примечание: **Ряд 1** (Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L. **Ряд 2 (контроль, родник д. Ольгино)**: 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

По степени уменьшения КУ активности аминокислоты в биомассе травянистых растений для 3-х групп родниковых урочищ составлен следующий ряд: РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (рисунок 5).

Анализ результатов (рисунок 6) исследований показал, что содержание каталазы в побеговой массе фоновых видов растений во всех 3-х групп местообитаний ручьёв и родников достоверно ниже контроля в 1,07-1,50 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99,9\%$). Максимальная концентрация отмечена в местообитаниях РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (15,66%), минимальная в местообитаниях РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку (14,64%).

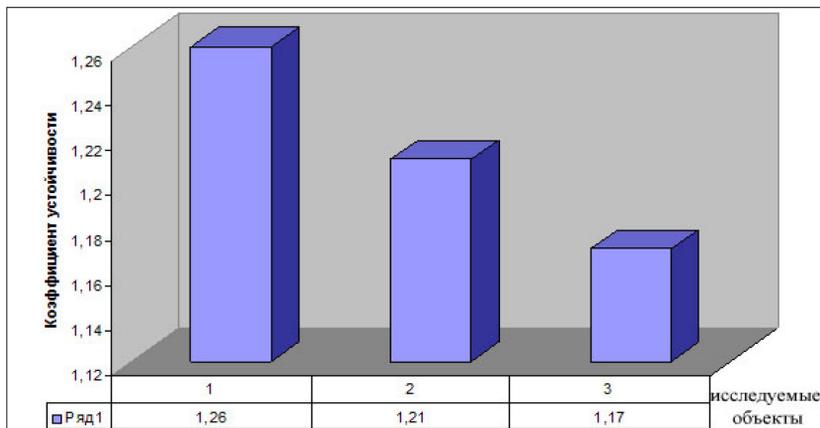


Рис. 5. Коэффициент устойчивости (по активности каталазы, мкмоль O^2 / г мин на сыр. массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3 - 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель

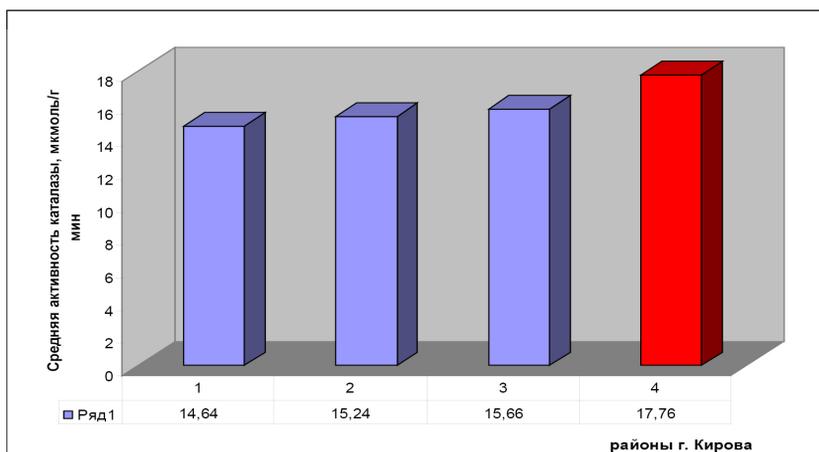


Рис. 6. Средняя активность каталазы, мкмоль O^2 / г мин на сыр. массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3 - 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель, 4 - контроль

Составлен ряд районов по степени увеличения средней активности аминокислоты в биомассе фоновых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ: РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель.

Анализ активности полифенолоксидазы фоновых травянистых растений природниковых урочищ с различной антропогенной нагрузкой показал результаты, которые согласуются с рядом исследований отечественных авторов. В таблице 3 приведены результаты исследований на содержание полифенолоксидазы в пробах побеговой биомассы в условиях местообитаний, различающихся по антропогенной нагрузке (рисунок 7).

Таблица 3.

Средние значения содержания в пробе полифенолоксидазы в биомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

№ п/п	Растения	Содержание (М± m) полифенолоксидазы, мкмоль/ г мин на сыр. массу		Коэффициент устойчивости (КУ)
		Родник д. Ольгино (Комаричский район) контроль	опыт	
1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	0,5±0,07	0,7±2,5	1,40
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,71±0,06	0,98±2,5	1,38
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,2±0,02	1,55±2,3	1,29
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,1±0,1,108	1,45±3,1	1,32
5	<i>Lycopus europaeus</i>	0,94±0,07	1,25±1,2	1,33
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	1,5±0,08	1,80±2,3	1,20
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,3±0,10	1,63±3,0	1,25
2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	0,5±0,07	0,68±0,02	1,36
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,71±0,06	0,94±0,02	1,30
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,2±0,02	1,50±0,04	1,25
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,1±0,1,108	1,41±0,05	1,28
5	<i>Lycopus europaeus</i>	0,94±0,07	1,22±0,05	1,30
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	1,5±0,08	1,78±0,06	1,19
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,3±0,10	1,56±0,08	1,20
1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель				
1	<i>Agrostis stolonifera</i>	0,5±0,07	0,65±0,02	1,30
2	<i>Scirpus sylvaticus</i>	0,71±0,06	0,90±0,02	1,27
3	<i>Rorippa amphibia</i>	1,2±0,02	1,43±0,04	1,19
4	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1,1±0,1,108	1,33±0,05	1,21
5	<i>Lycopus europaeus</i>	0,94±0,07	1,18±0,05	1,25
6	<i>Leptodictyum riparium</i>	1,5±0,08	1,52±0,06	1,14
7	<i>Marchantia polymorpha</i>	1,3±0,10	1,71±0,08	1,17

На рисунке 7 показана активность полифенолоксидазы в фитомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ на примере местообитаний ручьёв и ключей, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и контроля. Выявляется ряд по степени увеличения содержания аминокислоты в побеговой биомассе растений, а, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

Для местообитаний родников с интенсивной антропогенной нагрузкой зафиксирован следующий ряд чувствительности фоновых видов травянистых растений к значительной антропогенной нагрузке, в том числе и химическому загрязнению вод, основанной на степени уменьшения активности полифенолоксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. В других местообитаниях наблюдалась подобная ситуация.

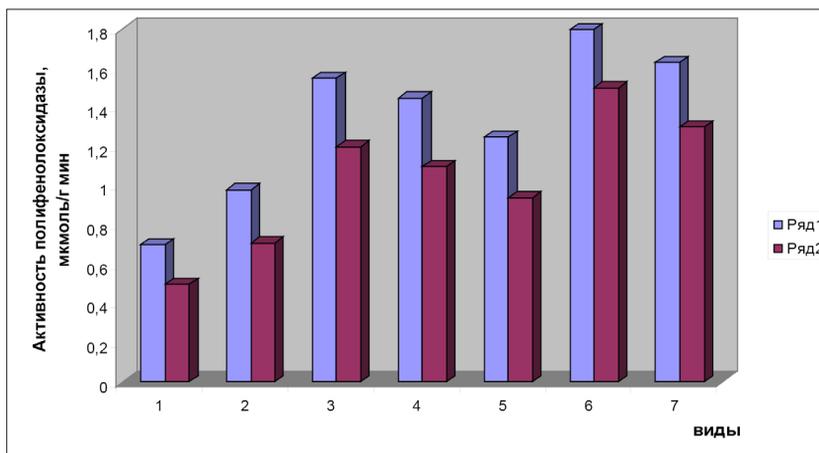


Рис. 7. Активность полифенолоксидазы (мкмоль/г мин на сырую массу) в фитомассе травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: Ряд 1(1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

Ряд 2 (контроль – родник д. Ольгино, Комаричский район): 1. *Agrostis stolonifera* L., 2. *Scirpus sylvaticus* L. 3. *Rorippa amphibia* (L.) Bess., 4. *Alisma plantago-aquatica* L., 5. *Lycopus europaeus* L., 6. *Leptodictyum riparium* (Schimp.) Warnst., 7. *Marchantia polymorpha* L.

На рисунке 8 показаны коэффициенты устойчивости (по активности полифенолоксидазы) видов травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ.

Максимальный КУ характерен для района родниковых урочищ, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и составил 1,31, а минимальный КУ отмечен для местообитаний родниковых урочищ староосвоенных сельскохозяйственных земель – 1,22. Таким образом КУ увеличивается с усилением антропогенного воздействия (сочетанного), в том числе и загрязнения вод ручьёв и ключей.

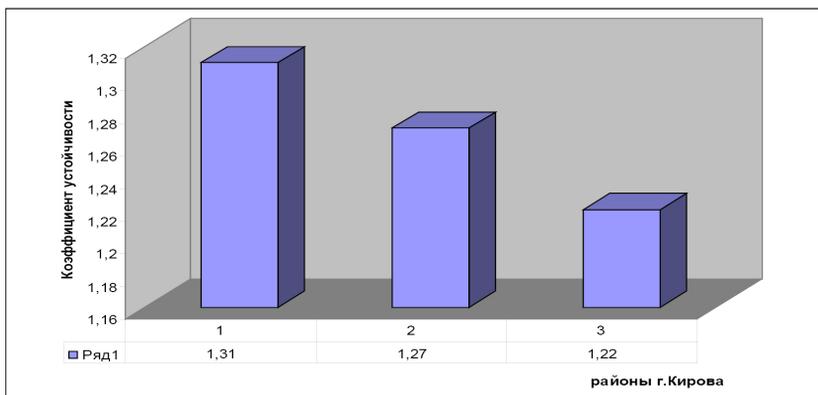


Рис. 8. Коэффициент устойчивости

(по активности полифенолоксидазы, мкмоль/г мин на сырую массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3- 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель

Составлен ряд по степени уменьшения средней активности аминокислоты в биомассе фоновых видов травянистых растений характерных 3-х групп родниковых урочищ: 1 РУ, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку > 2 РУ, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку > 1.2 РУ староосвоенных сельскохозяйственных земель (рисунок 9).

Важно отметить, что активность полифенолоксидазы в побеговой биомассе фоновых видов растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ достоверно выше контроля в 1,14-1,40 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99,9\%$). Максимальная активность отмечена в местообитаниях РУ, испытывающих

интенсивную антропогенную нагрузку (1,34), минимальная для местообитаний родниковых урочищ староосвоенных сельскохозяйственных земель (1,25). Однако самая минимальная активность аминокислоты встречалась в контроле (1,04).

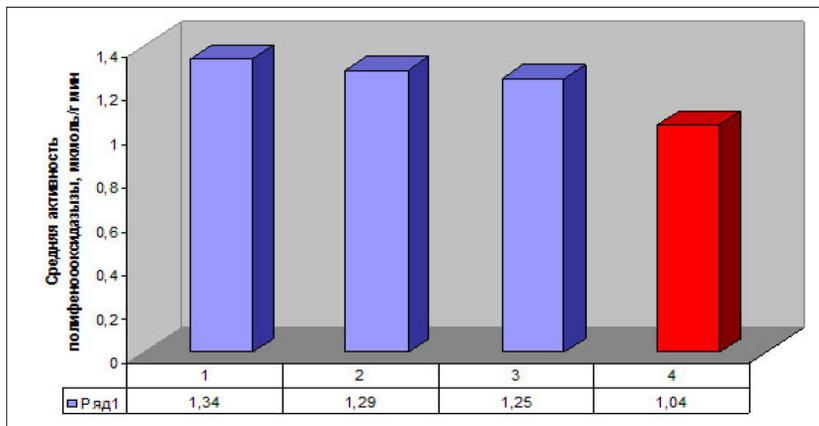


Рис. 9. Средняя активность полифенолоксидазы, мкмоль/г мин на сырую массу) травянистых растений в местообитаниях 3-х групп родниковых урочищ

Примечание: 1 – 1 Родниковые урочища, испытывающие интенсивную антропогенную нагрузку, 2 - 2 Родниковые урочища, в значительной степени испытывающие антропогенную нагрузку, 3 - 1.2 Родниковые урочища староосвоенных сельскохозяйственных земель, 4- контроль

Полученные результаты исследования показали, что фоновые виды прибрежно-водных растений природниковых урочищ испытывают существенное влияние сочетанной антропогенной нагрузки, в том числе и загрязнения вод из различных источников. В данных условиях у фоновых видов растений наблюдается увеличение активности пероксидазы и полифенолоксидазы и уменьшение активности каталазы. Во всех местообитаниях 3-х групп РУ с повышенным давлением антропогенного фактора, загрязнением вод активность ферментов достоверно выше контроля. Зафиксирована видовая резистентность растений на химическое загрязнение.

Полученные результаты согласуются для ряда видов макрофитов, полученных зарубежными исследователями, которые показали большее накопление АСм в побеговой биомассе растений по сравнению с корневой частью [11, 21]. Для настоящей работы по биохимическим особенностям прибрежно-водных и водных видов ручьев и родников в Нечерноземье РФ

можно считать выявленные показатели общей реакцией на антропогенный стресс и преобразование местообитаний, тогда как в большинстве работ показатели активности оксидоредуктаз выявлялись в связи с ответной реакцией на воздействие тяжёлых металлов [12, 21-23]. Для водно-болотных угодий также как и для местообитаний ручьёв и родников авторы выявили наибольшую активность пероксидазы у представителей семейства Злаковые [15]. Таким образом биохимические особенности (по биохимической антиоксидантной системе) прибрежно-водных и водных растений РУ можно использовать для проспективного биомониторинга состояния родников, в связи с соответствием численных значений активности оксидоредуктаз для модельных растений, в том числе и наземно-воздушной среды обитания, в разных географических условиях.

Выводы

1. Установлено, что антропогенное загрязнение оказывает существенное влияние на изменение содержания биологически активных веществ – индикаторов стресса. В побеговой массе фоновых видов растений родниковых урочищ по сравнению с контролем увеличено содержание (активность) полифенолоксидазы, пероксидазы, уменьшение концентрации (активности) каталазы ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99\%$). Вероятно, увеличение содержания биологически активных веществ в клетках растений увеличивает адаптацию растений к стрессам, но указывает на снижение устойчивости к загрязнениям.

2. Установлены ряды чувствительности видов модельных растений к сочетанной антропогенной нагрузке. Ряд чувствительности фоновых видов травянистых растений к значительной антропогенной нагрузке, в том числе и химическому загрязнению вод, основанной на степени уменьшения активности полифенолоксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности растений к стрессовым факторам по степени увеличения каталазы (активности каталазы): *Agrostis stolonifera* > *Scirpus sylvaticus* > *Rorippa amphibia* > *Alisma plantago-aquatica* > *Lycopus europaeus* > *Leptodictyum riparium* > *Marchantia polymorpha*. Ряд чувствительности к общей антропогенной нагрузке, в том числе и по химическому загрязнению вод по степени уменьшения пероксидазы: *Agrostis stolonifera* < *Scirpus sylvaticus* < *Rorippa amphibia* < *Alisma plantago-aquatica* < *Lycopus europaeus* < *Leptodictyum riparium* < *Marchantia polymorpha*.

3. Доказана видовая резистентность растений на химическое загрязнение.

4. Полученные результаты исследования показали, что фоновые виды прибрежно-водных растений природниковых урочищ испытывают существенное влияние сочетанной антропогенной нагрузки, в том числе и загрязнения вод из различных источников. Используя фоновые виды растений, можно установить на биохимическом уровне биообъектов, состояние биоты природниковых урочищ.

Список литературы

1. Воскресенская О.Л. Большой практикум по биоэкологии. Часть I. Йошкар-Ола, 2006. 107 с.
2. Колупаев Ю.Е., Рябчун Н.И., Вайнер А.А. и др. Активность антиоксидантных ферментов и содержание осмолитов в проростках озимых злаков при закаливании и криострессе // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 4. С. 533-541.
3. Никерова К.М., Галибина Н.А. Влияние нитратного азота на пероксидазную активность в тканях *Betula pendula* var. *carelica* (Mercklin) // Сибирский лесной журнал. 2017. № 1. С. 15-24.
4. Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. СПб.: ГИОРД, 2004. 240 с.
5. Рогожин В.В., Рогожина Т.В. Практикум по физиологии и биохимии растений. СПб.: ГИОРД, 2013. 352 с.
6. Соболева О.А., Анищенко Л.Н. Комплексная оценка родниковых вод Брянской области в системе государственного мониторинга // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 127-142.
7. Anishchenko L.N, Borzdyko E.V., Dolganova M.V., Moskalenko I.V., Avramenko M.V. Biochemical indicators of woody plants in the diagnosis of air condition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 962, 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/962/1/012005>
8. Anu Geetham Pkm, Malarvizhi A. Efficacy of the solvents on the phytochemical load and polyphenol content of the aquatic plant *azollamicrophylla* // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2022. Vol. 15(6). <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2022.v15i6.43386>
9. Inelova Z., Zayadan B., Zaparina Y., Aitzhan M., BOROS E. Perspectives for the application of aquatic and semi-aquatic plants in biomonitoring of freshwater, saline and soda aquatic ecosystems // Pak. J. Bot. 2023. Vol. 55(3). P. 1099-1115. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-3\(33\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(33))

10. Fahad S., Saud S., Chen Y., Wu C., Wang D. Abiotic Stress in Plants. BoD-Books on Demand. Nordstedt, Germany, 2021. 494 p.
11. Goncharuk E. A., Zagorskina N. V. Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review // *Molecules*. 2023. Vol. 28(9), 3921. <https://doi.org/10.3390/molecules28093921>
12. Kapoor D., Singh S., Kumar V., Romero R., Prasad R., Singh J. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) // *Plant Gene*. 2019. Vol. 19, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2019.100182>
13. Kaur M., Nagpal A.K., Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of plants and their application in development of green space along the urban areas // *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24(23). P. 18881-18895. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9500-9>
14. Kwak M. J., Lee J.K., Park S., Lim Y.J., Kim H., Nam Kim K.N., Je S.M., Park C.R. and Woo S.Y. Evaluation of the Importance of Some East Asian Tree Species for Refinement of Air Quality by Estimating Air Pollution Tolerance Index, Anticipated Performance Index, and Air Pollutant Uptake // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, 3067. <https://doi.org/10.3390/su12073067>
15. Maksimović T., Hasanagić D., Samelak I., Kukavica B. Class III peroxidase and polyphenol oxidase activities in aquatic macrophytes during vegetative period in Bardača a wetland // *International Journal of Limnology*. 2022. Vol. 58. <https://doi.org/10.1051/limn/2022009>
16. Manquián-Cerda K., Cruces E., Escudey M., Zúñiga G., Calderón R. Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets cultivated in vitro // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. Vol. 150. P. 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.050>
17. Molnár V.E., Tóthmérész B., Szabó S., Simon E. Pollution assessment in urban areas using air pollution tolerance index of tree species // *Air Pollution XXVI. WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2018. Vol 230. P. 367-374. <https://doi.org/10.2495/AIR180341>
18. Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2018. Vol. 29. P. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
19. Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Zulfiqar F., Raza A., Mohsin S.M., Mahmud J.A., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in

- plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. P. 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
20. Han D. Shen H., Duan W., Chen L. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. Vol. 48, 126565. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>
 21. Oyareme V., Osaji E.I.O. The Effects and Level of Catalase Enzyme Activity in Different Species of Aquatic Macrophytes and Their Families in Two Different Locations in Niger Delta, (Ikpoba River in Benin-City and Ethiopie River in Abraka), Nigeria // *Open Access Library Journal*. 2021. Vol. 8. P. 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107368>
 22. Zaghoul A., Saber M., Gadow S., Fikry A. Biological Indicators for Pollution Detection in Terrestrial and Aquatic Ecosystems // *Bulletin of the National Research Centre*. 2020. Vol. 44. Article number: 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>
 23. Zhang P., Liu Y., Chen X., Yang Z., Zhu M. & Li Y. Pollution resistance assessment of existing landscape plants on Beijing streets based on air pollution tolerance index method // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 132. P. 212-223.

References

1. Voskresenskaya O.L. *Bol'shoy praktikum po bioekologii* [Large workshop on bioecology]. Part I. Yoshkar-Ola, 2006, 107 p.
2. Kolupaev Yu.E., Ryabchun N.I., Vayner A.A. et al. Aktivnost' antioksidantnykh fermentov i sodержanie osmolitov v prorostkakh ozimnykh zlakov pri zakalivanii i kriostresse [Activity of antioxidant enzymes and osmolyte content in winter cereal seedlings during hardening and cryostr]. *Fiziologiya rasteniy*, 2015, vol. 62, no. 4, pp. 533-541.
3. Nikerova K.M., Galibina N.A. Vliyaniye nitratnogo azota na peroksidaznuyu aktivnost' v tkanyakh Betula pendula var.carelica (Mercklin) [Effect of nitrate nitrogen on peroxidase activity in tissues of Betula pendula var.carelica (Mercklin)]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2017, no. 1, pp. 15-24.
4. Rogozhin V.V. *Peroxidaza kak komponent antioksidantnoy sistemy zhivykh organizmov* [Peroxidase as a component of the antioxidant system of living organisms]. SPb.: GIORД, 2004, 240 p.
5. Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. *Praktikum po fiziologii i biokhimii rasteniy* [Workshop on plant physiology and biochemistry]. SPb.: GIORД, 2013, 352 p.
6. Soboleva O.A., Anishchenko L.N. Kompleksnaya otsenka rodnikovykh vod Bryanskoy oblasti v sisteme gosudarstvennogo monitoringa [Comprehensive

- assessment of spring waters of the Bryansk region in the state monitoring system]. *Vestnik RUDN. Seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2022, vol. 30, no. 2, pp. 127-142.
7. Anishchenko L.N, Borzdyko E.V., Dolganova M.V., Moskalenko I.V., Avramenko M.V. Biochemical indicators of woody plants in the diagnosis of air condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 962, 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/962/1/012005>
 8. Anu Geetham Pkm, Malarvizhi A. Efficacy of the solvents on the phytochemical load and polyphenol content of the aquatic plant azollamicrophylla. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2022, vol. 15(6). <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2022.v15i6.43386>
 9. Inelova Z., Zayadan B., Zaparina Y., Aitzhan M., BOROS E. Perspectives for the application of aquatic and semi-aquatic plants in biomonitoring of freshwater, saline and soda aquatic ecosystems. *Pak. J. Bot.*, 2023, vol. 55(3), pp. 1099-1115. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-3\(33\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(33))
 10. Fahad S., Saud S., Chen Y., Wu C., Wang D. Abiotic Stress in Plants. BoD-Books on Demand. Nordstedt, Germany, 2021, 494 p.
 11. Goncharuk E. A., Zagoskina N. V. Heavy Metals, Their Phytotoxicity, and the Role of Phenolic Antioxidants in Plant Stress Responses with Focus on Cadmium: Review. *Molecules*, 2023, vol. 28(9), 3921. <https://doi.org/10.3390/molecules28093921>
 12. Kapoor D., Singh S., Kumar V., Romero R., Prasad R., Singh J. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene*, 2019, vol. 19, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2019.100182>
 13. Kaur M., Nagpal A.K., Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of plants and their application in development of green space along the urban areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24(23), pp. 18881-18895. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9500-9>
 14. Kwak M. J., Lee J.K., Park S., Lim Y.J., Kim H., Nam Kim K.N., Je S.M., Park C.R. and Woo S.Y. Evaluation of the Importance of Some East Asian Tree Species for Refinement of Air Quality by Estimating Air Pollution Tolerance Index, Anticipated Performance Index, and Air Pollutant Uptake. *Sustainability*, 2020, vol. 12, 3067. <https://doi.org/10.3390/su12073067>
 15. Maksimović T., Hasanagić D., Samelak I., Kukavica B. Class III peroxidase and polyphenol oxidase activities in aquatic macrophytes during vegetative period in Bardača a wetland. *International Journal of Limnology*, 2022, vol. 58. <https://doi.org/10.1051/limn/2022009>

16. Manquían-Cerda K., Cruces E., Escudey M., Zúñiga G., Calderón R. Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plantlets cultivated in vitro. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2018, vol. 150, pp. 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.050>
17. Molnár V.E., Tóthmérész B., Szabó S., Simon E. Pollution assessment in urban areas using air pollution tolerance index of tree species. *Air Pollution XXVI. WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2018, vol. 230, pp. 367-374. <https://doi.org/10.2495/AIR180341>
18. Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol. 29, pp. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
19. Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Zulficar F., Raza A., Mohsin S.M., Mahmud J.A., Fujita M., Fotopoulos V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 2020, vol. 9, p. 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
20. Han D. Shen H., Duan W., Chen L. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, vol. 48, 126565. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126565>
21. Oyareme V., Osaji E.I.O. The Effects and Level of Catalase Enzyme Activity in Different Species of Aquatic Macrophytes and Their Families in Two Different Locations in Niger Delta, (Ikpoba River in Benin-City and Ethiopie River in Abraka), Nigeria. *Open Access Library Journal*, 2021, vol. 8, pp. 1-11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107368>
22. Zaghloul A., Saber M., Gadow S., Fikry A. Biological Indicators for Pollution Detection in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. *Bulletin of the National Research Centre*, 2020, vol. 44, article number: 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>
23. Zhang P., Liu Y., Chen X., Yang Z., Zhu M. & Li Y. Pollution resistance assessment of existing landscape plants on Beijing streets based on air pollution tolerance index method. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, vol. 132, pp. 212-223.

ВКЛАД АВТОРОВ

Соболева О.А.: лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Ноздрачева Е.В.: лабораторные исследования, морфометрические измерения, подготовка текста статьи.

Анищенко Л.Н.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga A. Soboleva: laboratory studies, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Elena V. Nozdracheva: laboratory studies, morphometric measurements, preparation of the article text.

Lidiya N. Anishchenko: general direction of the research, interpretation of the results, preparation of the text of the article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Соболева Ольга Александровна, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

*ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
janne1991@yandex.ru*

Ноздрачева Елена Владимировна, кандидат биологических наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

Анищенко Лидия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga A. Soboleva, Graduate Student of the Department of Geography, Ecology and Land Management

*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
janne1991@yandex.ru*

Elena V. Nozdracheva, Candidate of Biological Sciences

*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation*

Lidiya N. Anishchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation*

Поступила 12.09.2023

После рецензирования 30.09.2023

Принята 10.10.2023

Received 12.09.2023

Revised 30.09.2023

Accepted 10.10.2023