

***Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. в условиях золоотвалов Среднего Урала**

***Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. in the conditions of the ash dumps of the Middle Urals**

Глазырина М. А., Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Паляева А. М.

Glazyrina M. A., Filimonova E. I., Lukina N. V., Palyaeva A. M.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: puma2531@mail.ru; Elena.Filimonova@urfu.ru; natalia.lukina@urfu.ru; fsdmy8511@gmail.com
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Реферат. В работе представлены результаты исследования пространственной, онтогенетической и морфологической структуры ценопопуляций *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr., произрастающих в разреженном травянистом ярусе лесных фитоценозов, формирующихся на золоотвалах Верхнетагильской и Среднеуральской государственных районных электростанций (Средний Урал, подзона южной тайги). Показано, что в антропогенно нарушенных местообитаниях *B. multifidum* способен образовывать ценопопуляции с достаточно высокой численностью и плотностью. Выявлено, что особи *B. multifidum* с золоотвалов по большинству биометрических показателей соответствуют размерам особей из естественных местообитаний. Показано, что исследованные ценопопуляции *B. multifidum* являются нормальными, трансформирующимися из молодых в переходные. Подходящие условия влажности субстратов, низкая ценотическая конкуренция в растительных сообществах способствуют сохранению генофонда видов сем. Ophioglossaceae в условиях золоотвалов.

Ключевые слова. Золоотвалы, морфология, онтогенетическая структура, сосудистые споровые растения, Средний Урал, *Botrychium multifidum*.

Summary. The article presents the results of the spatial, ontogenetic and morphological structure study of *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. coenopopulations growing in the sparse herbaceous layer of forest phytocenoses formed on the ash dumps of the Verkhnetagilskaya and Sredneuralskaya state district power plants (Middle Urals, southern taiga subzone). It is shown that in anthropogenically disturbed habitats, *B. multifidum* is able to form coenopopulations with a fairly high abundance and density. It was revealed that *B. multifidum* individuals from ash dumps correspond to the sizes of individuals from natural habitats in most biometric indicators. It is shown that the studied *B. multifidum* coenopopulations are normal, transforming from young to transitional. Suitable conditions of substrate moisture, low cenotic competition in plant communities contribute to the gene pool preservation of species of family Ophioglossaceae in ash dumps conditions.

Key words. Ash dumps, *Botrychium multifidum*, Middle Urals, morphology, ontogenetic structure, vascular spore plants.

Основным природным ресурсом, имеющим экологическое, экономическое и социальное значение, является биологическое разнообразие, которое обеспечивает устойчивость экосистем к внешним стрессовым воздействиям и поддерживает в них подвижное равновесие (Конвенция..., 1992; Стратегия..., 2014; Красная книга Кузбасса, 2021). На данный момент существенную долю территорий нашей планеты составляют техногенные ландшафты со специфическими характеристиками, неблагоприятными и даже опасными для жизни и здоровья человека. К подобным территориям относится Средний Урал – индустриально развитый регион Российской Федерации, где существует большое разнообразие нарушенных промышленностью земель, в том числе золоотвалы. В процессе восстановления растительного покрова на золоотвалах, при определенных условиях могут поселяться виды растений, относящиеся к категории редких и уязвимых объектов растительного мира. К данной категории относятся древние примитивные представители порядка Ophioglossales, в частности семейство Ophioglossaceae (подсемейство Botrychiaceae). Виды данного семейства в естественных растительных сообществах

встречаются редко либо спорадически малочисленными популяциями и внесены в Красные книги многих областей и республик РФ (Красная книга Калужской области, 2015; Красная книга Ярославской области, 2015; Красная книга Кузбасса, 2021; Красная книга Бурятии, 2023; и др.), и зарубежья (Bilz et al., 2011).

Большое значение для разработки эффективных инструментов охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения видов имеет исследование биологии, экологии, стратегии жизни и механизмов устойчивости на организменном и популяционном уровнях (Онтогенетический атлас..., 2007; Разживина, Байдарова, 2009; Глазырина и др., 2017) и др.

Цель данной работы – изучение пространственной и онтогенетической структур ценопопуляций *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. (гроздовника многораздельного) в условиях золоотвалов Среднего Урала, а также морфологических параметров особей данного вида.

Исследования проводили в 2009–2024 гг. на Среднем Урале (таежная зона, подзона южной тайги, Белоярский ботанико-географический округ Свердловской области (Куликов и др., 1913). Район исследования находится в умеренно-континентальной бореальной климатической зоне (Шакиров, 2011).

Объектом исследований являлись ценопопуляции (ЦП) *B. multifidum* – голарктического бореального вида, произрастающего на золоотвалах Верхнетагильской (ВТГРЭС; г. Верхний Тагил) и Среднеуральской (СУГРЭС; г. Среднеуральск) государственных районных электростанций, соответственно ЦП1 и ЦП2. Золоотвалы образованы золой бурого угля Челябинского угольного бассейна, а золоотвал СУГРЭС еще и золой иртышского угля Экибастузского месторождения. Характеристика «свежей» золы приведена ранее (Чибрик и др., 2011). Краткая характеристика субстратов золоотвалов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Краткая характеристика субстратов золоотвалов

Золоотвалы	Субстрат	Горизонт	pH _{H2O}	Общий органический углерод, ТОС, %	Гигровлага, %	Ca ²⁺ , мг-экв/100 г почвы	Mg ²⁺ , мг-экв/100 г почвы
ВТГРЭС	Зола	0–10	5,57	3,31	0,48	1,85	1,35
СУГРЭС	Зола + глина	0–10	5,19	3,43	1,61	3,1	1,3

Сбор фактического материала выполнен по общепринятым методикам. Детально-маршрутным методом обследовали растительные сообщества. Для изучения встречаемости *B. multifidum* и онтогенетической структуры ЦП в исследуемых растительных сообществах случайным образом закладывали 30–50 учетных площадок ($S = 0,25 \text{ м}^2$). Большая часть особей *B. multifidum* была обследована в природных условиях, меньшую часть выкапывали для анализа в камеральных условиях. У особей *B. multifidum* измеряли высоту растения (см), длину и ширину вайи трофофора (см), подсчитывали количество сорусов в спороносной метелке. Для установления онтогенетического состояния использовали ключи (Онтогенетический атлас..., 2007). Были определены ценопопуляционные индексы: Δ – индекс возрастности (Уранов, 1975), ω – индекс эффективности (Животовский, 2001) и I_v – индекс восстановления (Жукова, 1987).

В естественных условиях *B. multifidum* предпочитает низкотравные луга, лесные поляны, сосновые леса, окраины болот. В таежной зоне встречается редко. Геофит, короткокорневищный травянистый папоротник высотой 7–25 см. Гаметофит обоеполюй. Спороносит в июле–августе. Зимне-зеленый вид. Мезофит (Онтогенетический атлас..., 2007; Князев и др., 2016).

На золоотвале ВТГРЭС *B. multifidum* впервые был отмечен в 2000 г. на участке «чистой» золы в луговом растительном сообществе с доминированием *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv. и *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. ЦП1 была представлена небольшой группой из ювенильных (J2) и имматурных (Im) особей (обилие un gr). Площадь локуса составляла около $0,25 \text{ м}^2$ (Глазырина и др., 2017). ЦП1 была инвазионной. В 2011 г. обилие увеличилось до sol gr.

К 2016 г. данный вид расселился по территории всего закустаренного вейниково-щучкового растительного сообщества с формирующимся древесным ярусом из *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L. Кустарниковый ярус был представлен семью видами рода *Salix*, среди кото-

рых преобладали *Salix caprea* L. и *S. myrsinifolia* Salisb. Общее проективное покрытие (ОПП) травянистого яруса варьировало от 5 % до 60 %. В растительном сообществе доминировали: *D. cespitosa*, *C. epigejos*, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Poa palustris* L., *P. pratensis* L. Встречаемость *B. multifidum* достигала 73 %, обилие – sp-sp gr (Глазырина и др., 2017). ЦП1 являлась нормальной неполночленной, молодой. Средняя плотность данного вида составляла 3,8 особи на 0,25 м².

В 2019 г. встречаемость *B. multifidum* увеличилась до 80 %, а в 2020 г. уменьшилась до 54 %. К 2020 г. ЦП1 становится нормальной неполночленной, переходной, с бимодальным спектром (рис. 1, табл. 2). Средняя плотность данного вида составляла 6,6 особи на 0,25 м².

Исследование, проведенное в 2024 г., показало, что *B. multifidum* сохранился в данном сообществе (встречаемость составила 63 %), но несколько снизил свое обилие (sol gr-sp). В растительном сообществе сомкнутость древесного яруса достигла 0,40–0,80 %, а ОПП травянистого яруса в среднем составило 41,5 % (от 10 до 80 %). Папоротник *B. multifidum*, вытесняемый злаками, стал распространяться под деревья, где обилие травянистых видов было невысоким. ЦП1 – нормальная полночленная, молодая, с левосторонним онтогенетическим спектром (рис. 1, табл. 2). Средняя плотность данного вида составила 3,8 особи на 0,25 м².

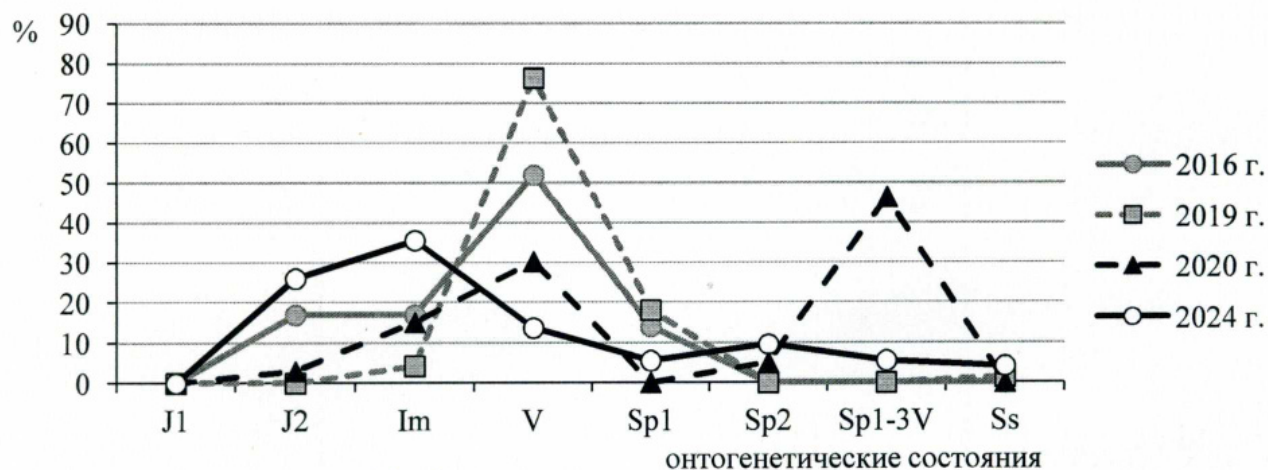


Рис. 1. Распределение особей *B. multifidum* по онтогенетическим состояниям в ЦП1 за период исследования.

Таблица 2

Индексы ценопопуляций *Botrychium multifidum* на золоотвалах

ЦП	Год	Дельта, Δ	Омега, ω	Тип нормальных популяций	Iв
ЦП1	2016	0,10	0,35	молодая	69,3
	2019	0,15	0,48	молодая	4,46
	2020	0,41	0,57	переходная	0,94
	2024	0,18	0,34	молодая	3,67
ЦП2	2019	0,21	0,51	молодая	2,10
	2022	0,37	0,59	переходная	0,89

На золоотвале СУГРЭС ЦП2 *B. multifidum* впервые была изучена в 2009 г. в смешанном лесу, формирующемся вдоль внешней дамбы золоотвала на золе с покрытием слоем глинистого грунта. В лесном фитоценозе доминировали *B. pendula*, *P. sylvestris* и *P. tremula*, сомкнутость крон варьировала от 0,50 до 0,75 %. ОПП травянистого яруса в среднем составляло 58,3 % (от 25 до 90 %). В травянисто-кустарничковом ярусе преобладали: *Pyrola rotundifolia* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Pilosella glomerata* (Froel.) Fries. Встречаемость *B. multifidum* составляла 83 %, обилие – sp gr. ЦП2, представленная особями исключительно в прегенеративном онтогенетическом состоянии (J2, Im и V особи), была инвазионной (рис. 2, табл. 2). Средняя плотность данного вида составляла 2,8 особи на 0,25 м².

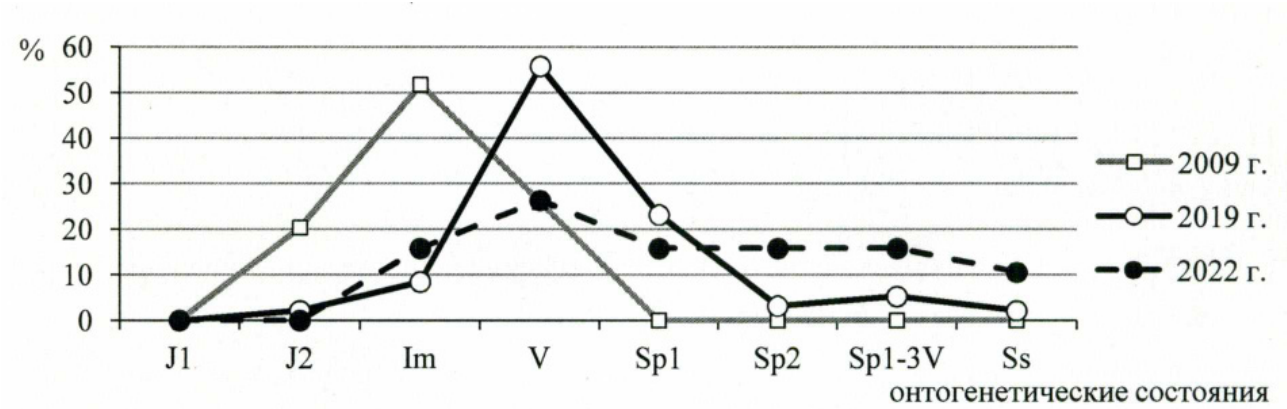


Рис. 2. Распределение особей *B. multifidum* по онтогенетическим состояниям в ЦП2 за период исследования.

В 2019 г. в растительном сообществе наблюдалось изреживание древостоя. Высота деревьев достигала 18–20 м, сомкнутость крон – 0,70–0,80 %. Средний диаметр стволов *P. sylvestris* составлял 24,3 см. В подлеске встречались: *Sorbus aucuparia* L., *P. tremula*, *Alnus incana* (L.) Moench, *Salix cinerea* L., *S. pentandra* L., *S. caprea* и др. В травянисто-кустарничковом ярусе преобладали: *P. rotundifolia*, *Orthilia secunda* (L.) House, *Platantera bifolia* (L.) Rich., *Hieracium umbellatum* L., *Lathyrus pratensis* L., *C. epigejos* и др. Встречаемость *B. multifidum* снизилась до 73 %, обилие до sp–sp gr. В 2019 г. ЦП2 была нормальной полночленной, молодой, с левосторонним онтогенетическим спектром (рис. 2, табл. 2). Средняя плотность данного вида составляла 2,3 особи на 0,25 м².

Исследование, проведенное в 2022 г., показало, что существенно снизились встречаемость *B. multifidum* (до 16 %), его обилие (до sol) и средняя плотность данного вида – 0,4 особи на 0,25 м². ЦП2 является нормальной полночленной, переходной (рис. 2, табл. 2).

В условиях золоотвалов развиваются полноценные особи *B. multifidum* (табл. 3). Изменчивость морфологических признаков особей *B. multifidum* зависит от ценотических условий местообитаний.

Таблица 3

Некоторые биометрические показатели спороносящих особей *Botrychium multifidum*

Показатель	Статистический показатель	Золоотвалы				
		СУГРЭС	ВТГРЭС			
		2019 г.	2016 г.	2019 г.	2020 г.	2024 г.
Высота особи, см	N	9	6	11	5	5
	Хср. ± mх	14,1 ± 1,0	12,3 ± 1,5	13,0 ± 0,9	12,9 ± 2,0	15,3 ± 1,4
	lim	10,0–19,0	8,0–16,5	8,0–16,5	8,3–18,2	12,6–19,0
	Cv, %	21	29	22	35	20
Длина вайи трофофора, см	N	9	6	11	5	5
	Хср. ± mх	3,4 ± 0,4	4,8 ± 0,5	4,6 ± 0,4	4,4 ± 0,8	5,8 ± 1,0
	lim	2,0–5,7	3,0–6,6	2,2–6,6	2,8–7,0	2,6–8,6
	Cv, %	36	28	28	39	38
Ширина вайи трофофора, см	N	9	6	11	5	5
	Хср. ± mх	3,4 ± 0,6	6,2 ± 0,5	5,2 ± 0,4	4,4 ± 1,1	4,4 ± 0,5
	lim	1,2–6,0	5,0–7,8	3,2–7,8	2,3–7,5	2,7–5,8
	Cv, %	51	19	27	56	26
Число сорусов, шт.	N	8	5	4	–	5
	Хср. ± mх	86,0 ± 16,4	206,4 ± 20,5	136,3 ± 33,6	–	371,8 ± 103,8
	lim	23–170	130–247	61–195	–	110–653
	Cv, %	54	22	49	–	63

Примеч.: «–» – нет данных.

Таким образом, *Botrychium multifidum* способен произрастать на зольном субстрате. В условиях отработанных, зарастающих золоотвалов Среднего Урала данный вид образует нормальные ценопопуляции, представленные большим числом особей. *B. multifidum* проходит в своем онтогенезе все стадии (состояния) и может существовать длительное время в формирующихся растительных сообществах, при отсутствии полного затенения, при сниженном фитоценоотическом стрессе и при наличии достаточной влажности субстрата.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2023-0019.

ЛИТЕРАТУРА

- Глазырина М. А., Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Фатеева С. С.** *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. в естественных и техногенных местообитаниях на Среднем Урале // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2017. – № 6 (167). – С. 53–61.
- Животовский Л. А.** Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология, 2001. – № 1. – С. 3–7.
- Жукова Л. А.** Динамика популяций луговых растений: Автореф. дис. д-ра биол. наук. – Новосибирск: ЦСБС РАН, 1987. – 32 с.
- Князев М. С., Золотарева Н. В., Подгаевская Е. Н., Третьякова А. С., Куликов П. В.** Конспект флоры Свердловской области. Часть I: Споровые и голосеменные растения // Фиторазнообразие Восточной Европы, 2016. – Т. 10, вып. 4. – С. 11–41.
- Конвенция о биологическом разнообразии.** – Рио-де-Жанейро, 5 июня 1992 г. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conv1990.shtml (дата обращения 06.06.2025)
- Красная книга Республики Бурятия: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов /** Отв. ред. О. А. Аненхонов. – 4-е издание, перераб. и доп. – Белгород: КОНСТАНТА, 2023. – 342 с.
- Красная книга Калужской области.** Том. 1. Растительный мир. – Калуга: ООО «Ваш Домъ», 2015. – 536 с.
- Красная книга Кузбасса.** Том. 1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / Отв. ред. А. Н. Куприянов. – 3-е издание, перераб. и доп. – Кемерово: «ВЕКТОР-ПРИНТ», 2021. – 240 с.
- Красная книга Ярославской области.** – Ярославль: Академия 76, 2015. – 472 с.
- Куликов П. В., Золотарева Н. В., Подгаевская Е. Н.** Эндемичные растения Урала во флоре Свердловской области. – Екатеринбург: Голицынский, 2013. – 612 с.
- Онтогенетический атлас растений.** Т. V. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. – 372 с.
- Разживина Т. В., Байдарова Е. Д.** Папоротники класса Ужовниковые в Пензенской области // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского, 2009. – № 14 (18). – С. 31–35.
- Стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации.** – Москва, 2014. – 256 с.
- Уранов А. А.** Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биологические науки, 1975. – № 2. – С. 7–34.
- Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А.** Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. – 268 с.
- Шакиров А. В.** Физико-географическое районирование Урала. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 617 с.
- Bilz M., Kell S. P., Maxted N., Lansdown R. V.** European Red List of Vascular Plants. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. – 131 p.