

Морфологические особенности экспортно значимых грибов рода *Ophiostoma* на хвойных породах

СИНКЕВИЧ О.В.¹, ЩУКОВСКАЯ А.Г.²,
СУРИНА Т.А.³, ЛЯБЗИНА С.Н.⁴, ЗАЙЦЕВА Л.В.⁵,
КОПИНА М.Б.⁶

^{1-3, 5, 6} ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»), пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия, 140150

⁴ Петрозаводский государственный университет
ПетрГУ, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185035

¹ ORCID: 0009-0005-1164-7373; e-mail: ovbio@mail.ru

² ORCID: 0000-0001-9787-8351; e-mail: schukovskaya.a@vniikr.ru

³ ORCID: 0000-0002-0463-5762; e-mail: t.a.surina@yandex.ru

⁴ ORCID: 0000-0003-3386-5724; e-mail: slyabzina@petrsu.ru

⁵ ORCID: 0009-0004-3678-406X; e-mail: lidiya.zaitzeva26@yandex.ru

⁶ ORCID: 0000-0002-1613-1764; e-mail: kopinamaria645@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Фитопатогенные грибы рода *Ophiostoma*, вызывающие синеву древесины хвойных пород, являются ограничением для экспорта лесопроductии в ряде стран. Все виды данного рода образуют схожие структуры спороношения, что существенно затрудняет их визуальную идентификацию. В статье представлен краткий обзор информации о двух видах рода *Ophiostoma*, выделенных из древесины хвойных пород. Приводится подробное морфологическое описание спороносящих структур (перитециев и коремиев), сформировавшихся на образцах древесины хвойных пород. Статистический анализ с использованием критерия Манна – Уитни позволил установить, что размеры этих структур достоверно различаются в зависимости от породы древесины, что указывает на высокую фенотипическую пластичность исследованных видов и подтверждает ограниченную надежность морфологической идентификации. Также в работе представлено культурально-морфологическое описание изолятов на четырех питательных средах, при этом отмечена зависимость темпа роста колонии, уровня пигментации и интенсивности спороношения от состава среды. Исследование показывает, что надежная оценка фитосанитарного состояния древесины требует всестороннего изучения морфокультуральных характеристик возбудителей. Такой подход, основанный на анализе фенотипической изменчивости, позволяет решать

Morphological characteristics of export-significant fungi of the genus *Ophiostoma* on conifers

OLGA V. SINKEVICH¹, ANASTASIA G. SHCHUKOVSKAYA², TATIANA A. SURINA³, SVETLANA N. LYABZINA⁴, LIDIA V. ZAITSEVA⁵, MARIA B. KOPINA⁶

^{1, 2, 3, 5, 6} All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU "VNIICR"), Bykovo, Ramenskoye, Moscow Oblast, Russia, 140150

⁴ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, 185035

¹ ORCID: 0009-0005-1164-7373,

e-mail: ovbio@mail.ru

² ORCID: 0000-0001-9787-8351;

e-mail: schukovskaya.a@vniikr.ru

³ ORCID: 10000-0002-0463-5762;

e-mail: t.a.surina@yandex.ru

⁴ ORCID: 0000-0003-3386-5724;

e-mail: slyabzina@petrsu.ru

⁵ ORCID: 0009-0004-3678-406X;

e-mail: lidiya.zaitzeva26@yandex.ru

⁶ ORCID: 20000-0002-1613-1764;

e-mail: kopinamaria645@gmail.com

ABSTRACT

Phytopathogenic fungi of the genus *Ophiostoma*, which cause sapstain in coniferous wood, represent a major constraint on timber exports to several countries. All species of this genus form similar sporulation structures, significantly complicating their visual identification. This article presents a brief overview of two species of the genus *Ophiostoma* isolated from coniferous wood. A detailed morphological description of the spore-bearing structures (perithecia and synnemata) formed on coniferous wood samples is provided. Statistical analysis using the Mann-Whitney test revealed that the sizes of these structures vary significantly depending on the wood species, indicating high phenotypic plasticity of the studied species and confirming the limited reliability of morphological identification. The paper also presents a cultural and morphological description of the isolates on four nutrient media, noting the dependence of colony growth rate, pigmentation level, and sporulation intensity on the medium composition. The study indicates that a reliable assessment of the phytosanitary condition of wood requires a comprehensive study of the cultural and morphological characteristics of pathogens. This approach, based on the analysis of phenotypic variability, allows for not

не только диагностические задачи, но и раскрывать особенности адаптации грибов к заселению древесных тканей.

Ключевые слова: грибы рода *Ophiostoma*, синевая древесины, древесина хвойных пород, *Ophiostoma floccosum*, *Ophiostoma piceae*, сосна обыкновенная, ель обыкновенная.

ВВЕДЕНИЕ

Значительный экономический и экологический ущерб лесоперерабатывающей промышленности наносят фитопатогенные грибы семейства Ophiostomataceae, вызывающие синеву древесины – патологическое окрашивание проводящих тканей, сопровождающееся деградацией целлюлозы и снижением основных физико-механических свойств древесины, включая прочность, долговечность и технологическую ценность (Пашенова и др., 2009). Фитопатогенный потенциал этих грибов резко возрастает при симбиотических взаимодействиях с агрессивными ксилофагами, в частности короедами (Coleoptera: Scolytinae), способными поражать живые деревья (Фомин и др., 2026). В таких случаях грибы, транспортируемые насекомыми в флоэму и заболонь хвойных пород, активно колонизируют сосудистые ткани, расширяя зону повреждения, нарушая транспорт воды и растворенных питательных веществ, что приводит к ускоренному усыханию, нарушению физиологических функций и гибели растения-хозяина (Пашенова и др., 2009).

В связи с высокой эпидемиологической значимостью и риском трансграничного распространения в Иране приняты строгие карантинные требования, запрещающие экспорт неокоренных бревен и пиломатериалов хвойных пород при обнаружении *Ophiostoma* spp.

Морфологическая схожесть спороносящих структур – перитециев и коремиев у различных видов рода *Ophiostoma* – делает визуальную идентификацию неоднозначной (Пашенова и др., 2009; Романенко и др., 2023; Linnakoski et al., 2010; Kirisits, 2007; Malloch, Blackwell, 1993; Wingfield, Seifert, 1993). Дополнительную сложность идентификации вносит высокая изменчивость культурально-морфологических признаков у видов данного рода при их культивировании на разных питательных средах (Синкевич и др., 2026), что требует всестороннего изучения их фенотипической пластичности для выработки надежных диагностических критериев.

В связи с вышесказанным данная работа посвящена сравнительному изучению морфологических и культуральных свойств двух видов рода *Ophiostoma*: *Ophiostoma floccosum* Math.-Käärik, выделенного из пораженной древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) H. Karst.), и *Ophiostoma piceae* (Münch) Syd. & P. Syd., выделенного из пораженной древесины

only diagnostic purposes but also providing insight into fungal adaptation to colonizing wood tissue.

Key words: Fungi of the genus *Ophiostoma*, sapstain, coniferous wood, *Ophiostoma floccosum*, *Ophiostoma piceae*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*.

INTRODUCTION

Significant economic and environmental damage to the timber industry is caused by phytopathogenic fungi of the Ophiostomataceae family, which cause sapstain of coniferous wood – a pathological discoloration of vascular tissues accompanied by cellulose degradation and a decrease in the wood's key physical and mechanical properties, including strength, durability, and commercial value (Pashenova et al., 2009). The phytopathogenic potential of these fungi increases dramatically during symbiotic interactions with aggressive wood-boring insects, particularly bark beetles (Coleoptera: Scolytinae), which can attack living trees (Fomin D.S. et al., 2026). In such cases, fungi transmitted by insects into the phloem and sapwood of coniferous trees actively colonize vascular tissues, expanding the damage zone, impairing water transport and dissolved nutrients, which leads to accelerated dieback, disruption of physiological functions, and death of the host plant (Pashenova et al., 2009).

Due to the high epidemiological significance and risk of cross-border spread, Iran has adopted strict quarantine requirements prohibiting the export of unbarked softwood logs and lumber if *Ophiostoma* spp. is detected.

The morphological similarity of spore-bearing structures - perithecia and synnemata - in various species of the genus *Ophiostoma* makes visual identification ambiguous (Pashenova et al., 2009, Romanenko et al., 2023, Linnakoski et al., 2010, Kirisits, 2007, Malloch, Blackwell, 1993, Wingfield, Seifert, 1993). Additional complexity is introduced by the high variability of cultural and morphological characters in species of this genus when they are cultivated on different nutrient media (Sinkevich O. V. et al., 2026), which requires a comprehensive study of their phenotypic plasticity to develop reliable diagnostic criteria.

Therefore, this work is devoted to a comparative study of the morphological and cultural properties of two species of the genus *Ophiostoma* – *Ophiostoma floccosum* Math.-Käärik, isolated from affected Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) and *Ophiostoma piceae* (Münch) Syd. & P. Syd., isolated from affected Norway spruce wood (*P. abies*). In this case, the main attention is paid to identifying patterns of variability of spore-bearing structures and cultural properties depending on the wood type and the nutrient medium composition.

ели обыкновенной (*P. abies*). При этом основное внимание уделено выявлению закономерностей изменчивости спороносящих структур и культуральных свойств в зависимости от породы древесины и состава питательной среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили образцы древесины сосны обыкновенной и ели обыкновенной, пораженные фитопатогенными грибами рода *Ophiostoma*, а также чистые культуры изолятов *O. piceae* и *O. floccosum*, выделенные из поврежденной древесины и идентифицированные методом классической ПЦР с последующим секвенированием по Сэнгеру. Морфологические признаки спороносящих структур (перитеции и коремии) фиксировали методом световой микроскопии с применением микроскопа Axioskop 40 (Carl Zeiss, Германия). Для количественной оценки морфометрических параметров (длина и ширина основания перитециев, длина хоботка перитециев, длина коремии) проводили не менее 20 измерений на каждом образце древесины. Все измерения выполнялись с использованием встроенного программного обеспечения для анализа изображений (AxioVision). Культурально-морфологические характеристики и скорость радиального роста колоний изолятов *Ophiostoma* изучали в десятикратной повторности. Культуры выращивали на солодовом, морковном, картофельно-глюкозном и картофельно-декстрозном агаре ($pH = 5,5 \pm 0,1$), адаптированных для оптимального развития представителей семейства Ophiostomataceae. Инкубацию проводили при температуре 25 ± 1 °C. Скорость роста колоний оценивали в диаметральном направлении на 3, 5 и 7-й дни культивирования. Культурально-морфологические особенности (цвет мицелия, текстура колонии, продукция пигментов, спороношение) описывали на 10-й день культивирования в соответствии с общепринятыми методами (Рсалиев и др., 2015).

Для сравнения морфометрических параметров (размеров коремиев и перитециев, а также скорости роста колоний) между двумя независимыми выборками (изоляты *O. piceae* и *O. floccosum*) применяли статистическую обработку данных с использованием U-критерия Манна – Уитни. Этот непараметрический критерий применяется для сравнения двух несвязанных выборок (Шитиков, Розенберг, 2013). Уровень статистической значимости $p < 0,05$. При условии полученного р-значения меньше этого порога различия между выборками считаются статистически значимыми (достоверными). Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программного пакета PAST 4.03 (Hammer et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На неокоренной древесине сосны обыкновенной и ели обыкновенной при длительном хранении на лесозаготовительных площадках и местах переработки древесины проявляются признаки поражения древоразрушающими грибами рода *Ophiostoma*, в частности *O. floccosum* и *O. piceae*, вызывающими синеву древесины. Характерным макроскопическим

MATERIALS AND METHODS

The study examined wood samples of Scots pine and Norway spruce affected by phytopathogenic fungi of the genus *Ophiostoma*, as well as pure cultures of *O. piceae* and *O. floccosum* isolates obtained from the infected wood and identified by the conventional PCR method followed by Sanger sequencing. Morphological characters of spore-bearing structures (perithecia and synnemata) were examined using light microscopy with an Axioskop 40 microscope (Carl Zeiss, Germany). To quantitatively evaluate morphometric parameters (length and width of the perithecia base, perithecial neck length, synnemata length), at least 20 measurements were taken on each wood sample. All measurements were performed using built-in image analysis software (AxioVision). Cultural and morphological characters and the radial growth rate of *Ophiostoma* isolate colonies were studied in tenfold replicates. Cultures were grown on malt, carrot, potato glucose, and potato dextrose agar ($pH 5.5 \pm 0.1$), adapted for optimal development of representatives of the *Ophiostomataceae* family. Incubation was carried out at a temperature of 25 ± 1 °C. Colony growth rate was assessed in the diametrical direction on days 3, 5, and 7 of cultivation. Cultural and morphological characters (mycelial color, colony texture, pigment production, sporulation) were described on the 10th day of cultivation in accordance with generally accepted methods (Rsaliyev et al., 2015).

To compare morphometric parameters (the sizes of synnemata and perithecia, as well as the colony growth rate) between two independent samples (isolates of *O. piceae* and *O. floccosum*), statistical data processing was performed using the Wilcoxon-Mann-Whitney U-test. This nonparametric criterion is used to compare two unrelated samples (Shitikov V.K., Rosenberg, 2013). The level of statistical significance was taken to be $p < 0.05$. If the obtained p-value is less than this threshold, the differences between the samples are considered statistically significant (reliable). Statistical data processing was performed using the PAST 4.03 software package (Hammer et al., 2001).

RESULTS AND DISCUSSIONS

Unbarked Scots pine and Norway spruce wood stored for long periods at logging sites and wood processing facilities shows signs of damage by sapstain fungi of the genus *Ophiostoma*, particularly *O. floccosum* and *O. piceae*, which cause sapstain. A typical macroscopic damage symptom is the formation of wedge-shaped darkened zones on end-grain sections, which acquire a bluish-gray tint due to the development of mycelium and the formation of spore-bearing structures – synnemata and perithecia (see Fig. 1).

The fungus *O. floccosum* was isolated and identified from infected pine and spruce specimens. Micro-morphological analysis of the spore-bearing structures revealed differences in the perithecia structure depending on the host plant. On spruce wood, perithecia develop singly, are dark-colored, almost black, with a rounded base merging smoothly into a long



Рис. 1. Симптомы поражения древесины сосны грибами рода *Ophiostoma* (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 1. Symptoms of pine wood damage by *Ophiostoma* fungi (Photo: O.V. Sinkevich)

neck. The average perithecial neck length is $415.6 \pm 21.2 \mu\text{m}$, and the perithecial base diameter is $156.9 \times 149.5 \mu\text{m}$ (see Table 1).

On pine wood, perithecia are also solitary, almost black, but differ in having a longer neck and a smaller base (see Fig. 2). The average dimensions of the perithecial neck length are $513.55 \pm 18.8 \mu\text{m}$, the base diameter is $111.63 \times 114.02 \mu\text{m}$.

The Mann-Whitney test revealed a statistically significant difference between the perithecial neck length of *O. floccosum* formed on the studied wood species ($p = 1.8 \times 10^{-5}$, $r = 0.51$). Statistically significant differences in the morphometry of the perithecia ($p < 0.01$, t-test) indicate the adaptive features of *O. floccosum* and demonstrate the high variability of sporulating structures, which hinders morphological identification.

Synnemata formed on spruce wood were black, thin, and solitary or arranged in clusters of 3-5 pieces (see Fig. 3). Their length is generally greater than that of *O. floccosum* coremies on pine wood (see Table 1). The results showed a statistically significant difference between *O. floccosum* coremies formed on spruce and pine ($U = 783.00$, $p = 7.0 \times 10^{-6}$), while the synnemata length on spruce showed higher values for both the average and the median (see Table 1).



Рис. 2. Перитеции *Ophiostoma floccosum* на древесине сосны обыкновенной (а), ели обыкновенной (б) (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 2. Perithecia of *Ophiostoma floccosum* on wood of Scots pine (a), Norway spruce (b) (Photo: O.V. Sinkevich)

признаком поражения является образование клиновидных зон потемнения на торцевых срезах, приобретающих синевато-серый оттенок, обусловленный развитием мицелия и формированием спороносящих структур: коремиев и перитеций (см. рис. 1).

Из пораженных образцов сосны и ели был выделен и идентифицирован гриб *O. floccosum*. Микроморфологический анализ спороносящих структур выявил различия в структуре перитециев в зависимости от растения-хозяина. На древесине ели перитеции развиваются одиночно, темно-окрашенные, почти черные, с округлым основанием, плавно переходящим в длинный хоботок. Средние размеры длины хоботка – $415,6 \pm 21,2 \mu\text{м}$; диаметр основания – $156,9 \times 149,5 \mu\text{м}$ (см. табл. 1).

На древесине сосны перитеции также одиночные, почти черные, но отличаются более длинным

Synnemata formed on pine wood are usually solitary, less commonly arranged in clusters of 2-3 (see Fig. 3). Synnemata consist of fused conidiophores expanding at the apex of the synnema. The conidia are accumulated at the top of the synnemata into a mucilaginous conidial droplet.

On all the nutrient media studied, *O. floccosum* colonies demonstrated a relatively slow growth rate, reaching a diameter of 35–45 mm within 10 days. The morphological characters of the culture varied depending on the medium composition, indicating the high plasticity of this species (see Fig. 4). On malt

Табл. 1. Морфологические особенности спороносящих структур видов рода *Ophiostoma* на древесине хвойных пород
Table 1. Morphology of spore-bearing structures of species of the genus *Ophiostoma* on coniferous wood

Показатель Character	Длина хоботка перитеция, мкм Perithecial neck length, µm	Длина коремия, мкм Synnemata length, µm	Длина хоботка перитеция, мкм Perithecial neck length, µm	Длина коремия, мкм Synnemata length, µm
Вид Species	Ophiostoma floccosum		Ophiostoma piceae	
Порода древесины Wood species	Сосна Pine	Ель Spruce	Сосна Pine	Ель Spruce
Среднее Average	513,5 513.5	415,6 415.6	274,4 274.4	345,4 345.4
Медиана Median	486,7 486.7	390,8 390.8	253,7 253.7	305,2 305.2
Стандартное отклонение Standard deviation	134,5 134.5	122,6 122.6	68,4 68.4	117,7 117.7
Минимум Minimum	248,1 248.1	169,2 169.2	151,3 151.3	209,2 209.2
Максимум Maximum	760,1 760.1	833,7 833.7	572,3 572.3	602,1 602.1

хоботком и меньшим основанием (см. рис. 2). Средние размеры длины хоботка – 513,55 ± 18,8 мкм; диаметр основания – 111,63 × 114,02 мкм.

Критерий Манна – Уитни выявил статистически значимое и выраженное различие между длиной хоботка перитециев *O. floccosum*, образованных на изучаемых породах древесины ($p = 1,8 \times 10^{-5}$; $r = 0,51$). Статистически значимые различия в морфометрии перитециев ($p < 0,01$, t-тест) свидетельствуют об адаптационных особенностях *O. floccosum* и показывают высокую изменчивость плодоносящих структур, что препятствует морфологической идентификации.

Коремии, образованные на древесине ели, черные, тонкие и одиночные или собранные в пучки по 3–5 шт. (см. рис. 3). Их длина, как правило, больше, чем у коремиев *O. floccosum* на древесине сосны (см. табл. 1). Результаты показали статистически значимые различия между коремиями *O. floccosum*, сформировавшимися на ели и сосне ($U = 783$, $p = 7 \times 10^{-6}$), при этом длина коремиев на ели показывала более высокие значения как по среднему, так и по медиане (см. табл. 1).

Коремии, образованные на древесине сосны, чаще одиночные, реже собранные в пучки по 2–3 шт. (см. рис. 3). Коремии состоят из сросшихся конидиеносцев, расходящихся веером на вершине столбика. Конидии собраны на вершине коремия в каплю молочного цвета.

На всех исследованных питательных средах колонии *O. floccosum* демонстрировали относительно медленный темп роста, достигая диаметра

agar, the colonies were characterized by an entire margin, superficial white mycelium with a faint yellowish tint, and slight cottony aerial mycelium along the periphery. Concentric circles on the colony were weakly defined, almost flat, while the reverse side had a lemon-yellow color, which may be due to the accumulation of pigments. Conidiophores formed small gelatinous clusters, distributed evenly over the entire surface of the medium (see Fig. 5), which may reflect the adaptation of the fungus to limited nutrient conditions.

On carrot agar, colonies developed more vigorously, maintaining entire margins and a slightly floccose aerial mycelium. The mycelium ranged in color from light beige to almost white, with distinct concentric circles formed by fused, milky-colored conidiophores. The reverse side of the medium remained beige, indicating a lack of intense pigmentation, likely due to the optimal combination of carbohydrates and vitamins in this substrate.

On potato glucose agar, colonies acquired a slightly wrinkled surface with entire margin and a light brown base color, shading to an ochre hue. A grayish-white rim was noted along the periphery, and the colony surface was abundantly covered with aerial white mycelium. In older, colored areas, massive formation of brown synnemata was observed (see Fig. 5),

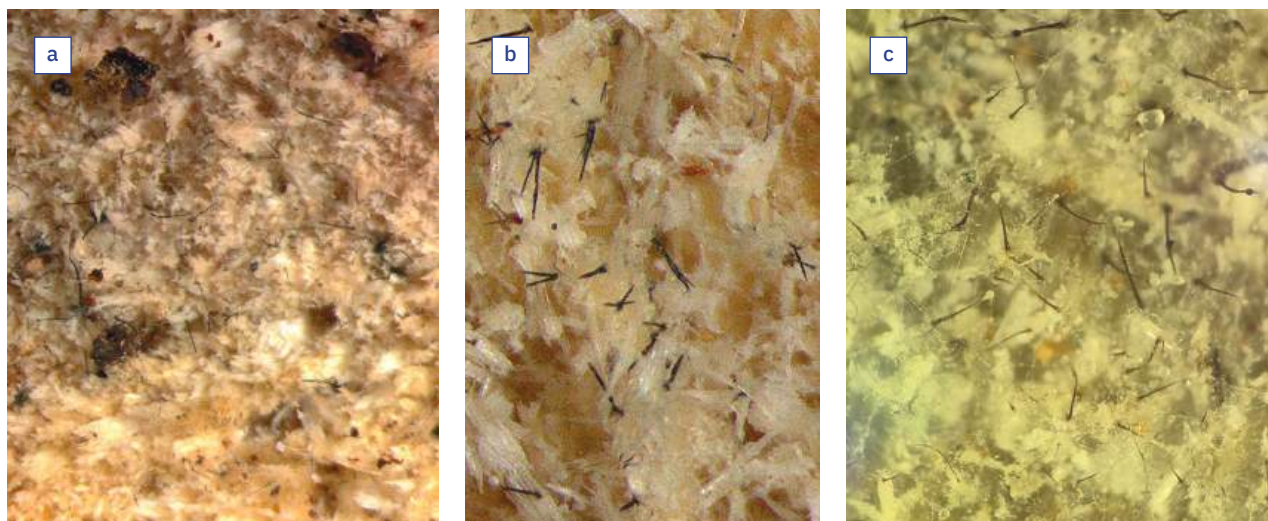


Рис. 3. Внешний вид спороношений *Ophiostoma floccosum* – коремии и перитеции на древесине ели обыкновенной (а), коремии (b, c) на древесине сосны обыкновенной (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 3. External appearance of *Ophiostoma floccosum* sporulation - synnemata and perithecia on Norway spruce wood (a), synnemata (b, c) on Scots pine wood (Photo: O.V. Sinkevich)

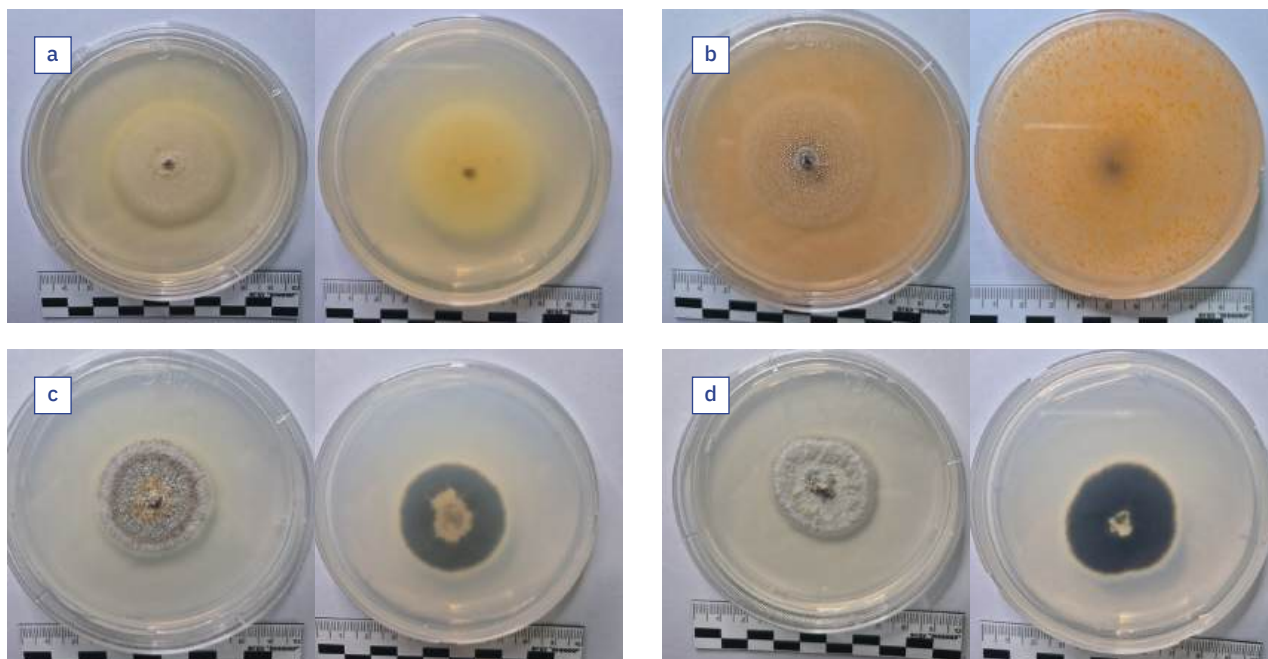


Рис. 4. Колонии *Ophiostoma floccosum* на солодовом (а), морковном (b), картофельно-глюкозном (с) и картофельно-декстрозном (d) агаре (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 4. *Ophiostoma floccosum* colonies on malt (a), carrot (b), potato glucose (c), and potato [VK3.1]dextrose (d) agar (Photo: O.V. Sinkevich)

35–45 мм в течение 10 суток. Морфологические особенности культуры варьировали в зависимости от состава среды, что свидетельствует о высокой пластичности данного вида (см. рис. 4). На солодовом агаре колонии характеризовались ровным краем, поверхностным белым мицелием со слабым желтоватым оттенком и незначительным опушением по периферии. Концентрические круги на колонии были слабо выражены, практически нерельефны, в то время как реверсная сторона отличалась лимонно-желтой окраской, что может быть связано с накоплением пигментов. Конидиеносцы образовывали мелкие желеобразные скопления, распределенные равномерно по всей поверхности среды (см. рис. 5), что может отражать адаптацию гриба к ограниченному питательным условиям.

which may be a consequence of stressful conditions or preparation for sporulation. The colony reverse was distinguished by an intense dark brown coloration, which may indicate the accumulation of melanin-like or polyketide metabolites.

Colony growth differed on potato dextrose agar. Here, colony growth slowed, the edges became slightly wavy, and the surface became wrinkled, with a predominantly light brown color. The colonies were abundantly covered with white mycelium, which may indicate stressful conditions caused by the utiliza-

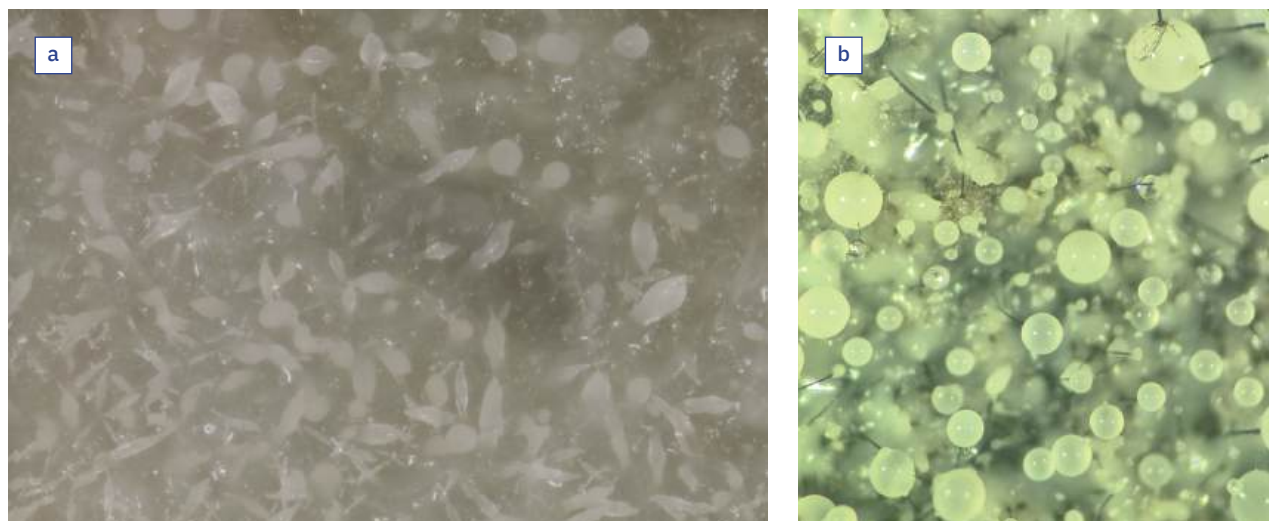


Рис. 5. Поверхность колонии *Ophiostoma floccosum* на солодовом агаре $\times 20$ (а) и картофельно-глюкозном агаре $\times 50$ (б) (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 5. The surface of the *Ophiostoma floccosum* colony on malt agar $\times 20$ (a) and potato glucose agar $\times 50$ (b) (Photo: O.V. Sinkevich)

На морковном агаре колонии развивались более интенсивно, сохраняя ровные края и поверхностный мицелий с легким опушением. Окраска мицелия варьировала от светло-бежевой до почти белой, с отчетливо выраженными концентрическими кругами, образованными сросшимися конидиеносцами молочного цвета. Реверсная сторона среды оставалась бежевой, что указывает на отсутствие интенсивной пигментации – вероятно, вследствие оптимального сочетания углеводов и витаминов в данном субстрате.

На картофельно-глюкозном агаре колонии приобретали слегка бугристую форму с ровными краями и светло-коричневой основной окраской, переходящей в охристый оттенок. По периферии отмечался серовато-белый ободок, а поверхность колонии была обильно покрыта воздушным белым мицелием. На более старых окрашенных участках наблюдалось массовое образование коричневых коремиев (см. рис. 5), что может быть следствием стрессовых условий или подготовкой к спорообразованию. Реверсная сторона колонии отличалась интенсивным темно-коричневым окрашиванием, что может свидетельствовать о накоплении меланиноподобных или поликетидных метаболитов.

Иной рост колонии наблюдался на картофельно-декстрозном агаре. Здесь рост колоний замедлялся, край становился слегка волнистым, а поверхность – бугристой с преобладающей светло-коричневой окраской. Колонии были обильно покрыты белым мицелием, что может указывать на стрессовые условия, вызванные особенностями усвоения декстрозы. Как и на картофельно-глюкозном агаре, на окрашенных участках колонии формировались коричневые коремии, а реверсная сторона сохраняла темно-коричневый оттенок, подчеркивая сходство метаболических процессов на обеих средах.

Гриб *O. piceae* (Münch) Syd. & P. Syd. был выделен из пораженной древесины ели обыкновенной (*P. abies*). На древесине ели перитеции *O. piceae* располагаются преимущественно на окрашенных участках древесины, формируя небольшие изолированные группы или одиночные экземпляры,

tion of dextrose. As with potato dextrose agar, brown synnemata formed on the colored areas of the colony, while the colony reverse retained a dark brown hue, emphasizing the similarity of metabolic processes on both media.

The fungus *O. piceae* (Münch) Syd. & P. Syd. was isolated from diseased Norway spruce (*P. abies*). On spruce wood, *O. piceae* perithecia occur predominantly on colored areas of the wood, forming small, isolated groups or single specimens, which may be associated with localized nutrient availability and optimal conditions for mycelium development. Perithecia are dark brown to black due to the presence of pigments, and their shape resembles a rounded base with a smooth transition into an elongated neck, ending in a colorless appendage (see Fig. 6). The average neck length is $502.2 \pm 143 \mu\text{m}$, the base is $156.9 \times 149.6 \mu\text{m}$.

The synnemata of *O. piceae* are elongated, dark-brown, almost black structures ranging from 308.64 to 443.11 μm in length, gradually becoming lighter toward the apex. Their structure is based on the fusion of conidiophores in a fan-shaped formation, which may facilitate dispersal of conidia. At the apex of each synnema, a characteristic milky-white droplet forms, containing a cluster of conidia, the diameter of which varies between 35.3 and 59.42 μm . The conidia are oval, flattened on one side, colorless, with dimensions of $7.04 \times 2.37 \mu\text{m}$, which corresponds to the standard microscopic characteristics for fungi of the Ophiostomataceae family and confirms their belonging to this taxon.

A study of the cultural characters of *O. piceae* on various nutrient media revealed relatively slow but uniform colony growth, which may reflect the specific physiological and biochemical requirements of this species for substrate and cultivation conditions. Thus, by the 10th day of incubation, the colony diameter on all nutrient media did not exceed 50 mm, indicating a limited rate of mycelial development *in vitro* and the

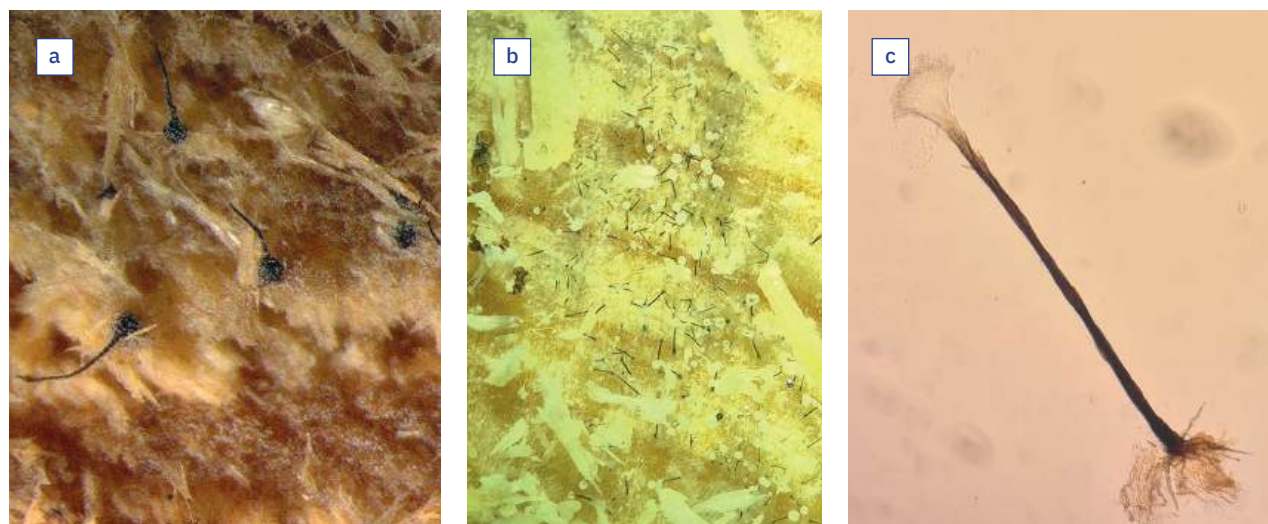


Рис. 6. Внешний вид спороносящих структур *Ophiostoma piceae*, перитеции (a) и коремии (b), (c) (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 6. External appearance of spore-bearing structures of *Ophiostoma piceae*, perithecia (a) and synnemata $\times 20$ (b), $\times 400$ (c) (Photo: O.V. Sinkevich)

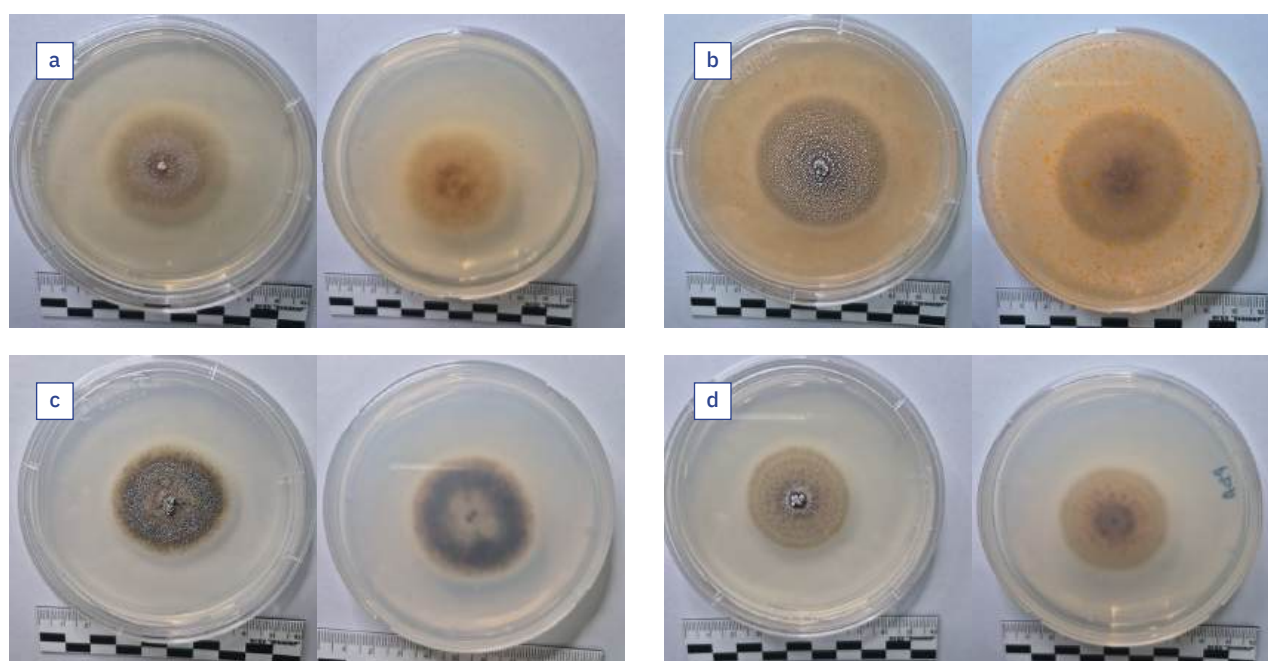


Рис. 7. Колонии *Ophiostoma piceae* на солодовом (a), морковном (b), картофельно-глюкозном (c) и картофельно-декстрозном (d) агаре (фото: О.В. Синкевич)

Fig. 7. *Ophiostoma piceae* colonies on malt (a), carrot (b), potato glucose (c), and potato dextrose (d) agar (Photo: O.V. Sinkevich)

что может быть связано с локальным накоплением питательных веществ и оптимальными условиями для развития грибницы. Их внешний вид характеризуется темной, почти черной окраской, обусловленной наличием пигментов, а форма напоминает округлое основание с плавным переходом в удлиненный хоботок, завершающийся бесцветным придатком (см. рис. 6). Длина хоботка в среднем составила $502,2 \pm 143$ мкм, основание – $156,9 \times 149,6$ мкм.

Коремии *O. piceae* представляют собой вытянутые темно-коричневые, почти черные, структуры длиной от 308,64 до 443,11 мкм, которые к вершине постепенно светлеют. Их строение основано на срастании конидиеносцев в виде веерообразного образования, что способствует эффективному распределению и диссеминации конидий. На вершине каждого коремия формируется характерная капля молочно-белого цвета, содержащая

possible need for more suitable cultivation conditions to accelerate growth. A certain similarity in cultural and morphological characters was observed on various media, allowing us to identify general trends in the development of this species.

On malt agar, the linear colony growth rate was 0.08 mm/h, confirming the relatively low intensity of mycelial proliferation. Colonies were characterized by smooth margins and tight adherence to the medium surface, with slight aerial mycelium due to the presence of conidial structures. Mycelium coloration varied from light brown in the central zone to light beige at the periphery, while the colony reverse had a

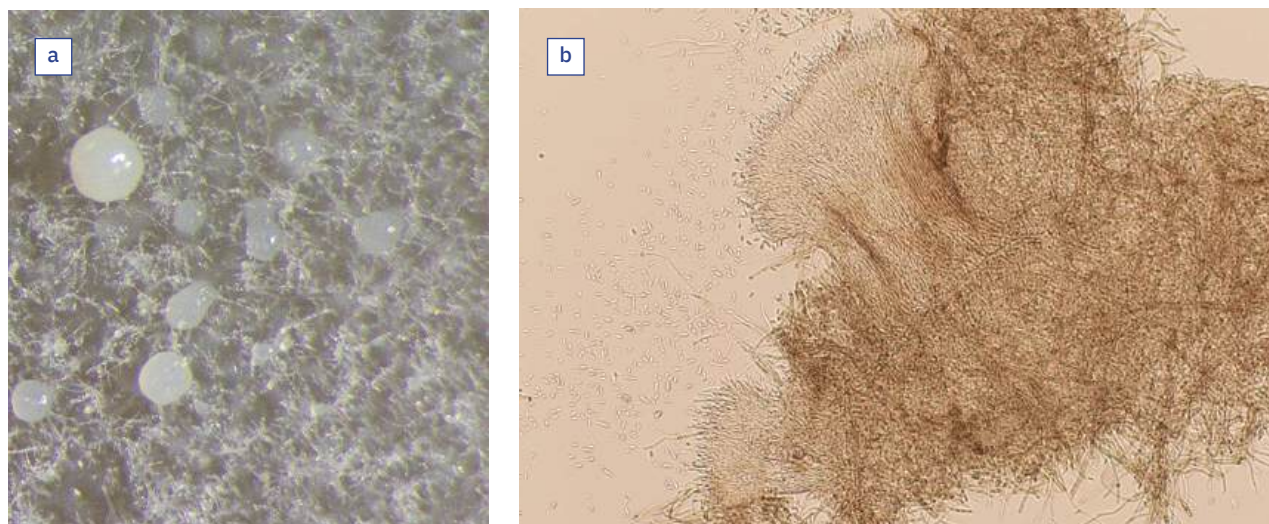


Рис. 8. Поверхность колонии *Ophiostoma piceae* x25 на морковном агаре (а), сросшиеся конидиеносцы x400 (с)
(фото: О.В. Синкевич)

Fig. 8. *Ophiostoma piceae* colony surface x25 on carrot agar (a), fused conidiophores x400 (c) (Photo: O.V. Sinkevich)

скопление конидий, диаметр которой варьирует в пределах 35,30–59,42 мкм. Конидии имеют овальную форму с одной стороны уплощенные, бесцветные, с размерными параметрами $7,04 \times 2,37$ мкм, что соответствует стандартным микроскопическим характеристикам для грибов семейства Ophiostomataceae и подтверждает их принадлежность к данному таксону.

Изучение культуральных характеристик *O. piceae* на различных питательных средах выявило сравнительно медленный, но равномерный рост колоний, что может быть обусловлено специфическими физиолого-биохимическими требованиями данного вида к субстрату и условиям культивирования. Так, к 10-му дню инкубации диаметр колоний на всех питательных средах не превышал 50 мм, что свидетельствует об ограниченной скорости мицелиального развития *in vitro* и возможной необходимости использования оптимизированных условий для ускорения роста. В то же время наблюдалась определенная схожесть культурально-морфологических признаков на различных средах, что позволяет выделить общие тенденции в развитии данного объекта исследования.

На солодовом агаре скорость линейного роста колонии составила 0,08 мм/ч, что подтверждает относительно низкую интенсивность мицелиального распространения. Колонии характеризовались ровным краем и плотным прилеганием к поверхности среды, с едва заметным опушением, обусловленным наличием конидиальных структур. Окраска мицелия варьировала от светло-коричневой в центральной зоне до светло-бежевой по периферии, тогда как обратная сторона колонии (реверс) имела коричневато-бежевый оттенок. Спороношение проявлялось в виде сросшихся конидиеносцев молочного цвета, локализованных преимущественно в центральной части колонии, что может указывать на формирование коремиеподобных структур даже при культивировании *in vitro*.

На морковном агаре рост колонии также сопровождался образованием ровных краёв, однако мицелий имел серовато-бежевую окраску и поверхностное расположение. Как и на солодовом

brownish-beige tint. Sporulation manifested itself as fused, milky-colored conidiophores, localized primarily in the central part of the colony, which may indicate the formation of synnemata-like structures even during *in vitro* cultivation.

On carrot agar, colony growth also resulted in smooth edges, but the mycelium was grayish-beige in color and located superficially. As on malt agar, concentric circles were observed, but in this case, they were formed by fused, milky-colored conidiophores, indicating that the fungus retains its ability to form spore-bearing structures even on nutrient-poor substrates. The lack of pronounced reverse pigmentation may indicate lower secondary metabolic activity on this medium (see Fig. 6).

On potato glucose agar, *O. piceae* colonies exhibited a slightly wavy edge and a dense mycelial texture, stained light brown. The colony surface was dotted with numerous spore-bearing structures arranged in concentric circles, which may indicate more intensive development of sporulating structures in the presence of easily digestible carbohydrates (glucose) and organic compounds from potatoes. The dark brown reverse color indicates high biosynthetic activity of the fungus, possibly associated with the production of melanin or other pigments.

On potato dextrose agar, colonies formed a smooth margin with an overall light-brown mycelium, but a bluish tint was observed in the central zone, which may be associated with the accumulation of specific metabolites or changes in the pH of the medium during growth. Concentric circles, as on other media, formed spore-bearing structures, confirming a genetically determined tendency to form synnemata even during *in vitro* cultivation. The brown reverse color indicates moderate biosynthetic activity, possibly differing from that on potato glucose agar due to the difference in substrate composition (dextrose as a carbohydrate source).

On the surface of the colonies in all nutrient media, mucous, milky-white, single, large, later slightly

агаре, здесь наблюдались концентрические круги, но в данном случае они были образованы сросшимися конидиеносцами молочного цвета, что свидетельствует о сохранении способности гриба к формированию спороносящих структур даже на бедных питательными веществами субстратах. Отсутствие выраженной пигментации реверса может свидетельствовать о меньшей активности вторичного метаболизма на данной среде (см. рис. 6).

На картофельно-глюкозном агаре колонии *O. piceae* демонстрировали слегка волнистый край и плотную мицелиальную текстуру, окрашенную в светло-коричневый цвет. Поверхность колонии была усеяна многочисленными спороносящими структурами, расположенными в виде концентрических кругов, что может указывать на более интенсивное развитие репродуктивных органов при наличии легкоусвояемых углеводов (глюкозы) и органических соединений картофеля. Темно-коричневый реверс свидетельствует о высокой биосинтетической активности гриба, возможно, связанной с продукцией меланинов или других пигментов.

На картофельно-декстрозном агаре колонии формировали ровный край при общей светло-коричневой окраске мицелия, однако в центральной зоне наблюдался голубоватый оттенок, что может быть связано с накоплением специфических метаболитов или изменением pH среды в процессе роста. Концентрические круги, как и на других средах, образовывали спороносящие структуры, что подтверждает генетически закрепленную тенденцию к формированию коремиев даже при искусственном культивировании. Коричневый реверс указывает на умеренную активность биосинтетических процессов, возможно, отличающуюся от таковой на картофельно-глюкозном агаре за счет различия в составе субстрата (декстроза как источник углеводов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования выявили высокую степень конвергентности культурально-морфологических признаков у представителей рода *Ophiostoma*. Сходство у изучаемых видов грибов *O. piceae* и *O. floccosum* подтверждает существование общих эволюционных механизмов, обеспечивающих оптимальное приспособление к паразитическому образу жизни в ксилофильных экосистемах. При этом морфологическая и физиологическая изменчивость видов рода *Ophiostoma* на различных питательных субстратах ярко демонстрирует его адаптивный потенциал, включающий способность формировать специализированные структуры в ответ на изменения условий среды. Вариации в окраске реверса колоний и развитии коремиеподобных образований могут быть обусловлены активацией специфических биосинтетических путей, а также модификациями метаболического профиля в зависимости от доступности макро- и микроэлементов, углеводов и других питательных компонентов.

Сравнительный анализ культуральных характеристик изучаемых видов рода *Ophiostoma* на различных питательных средах выявил как общие морфологические тенденции (наличие концентрических зон роста, локализация спороносения в центральной части колонии и формиро-

yellowish, conidiophores fused into thick bundles are formed, located along the edge of concentric circles (see Fig. 8).

CONCLUSION

This study showed a high degree of similarity of cultural and morphological characters in species of the genus *Ophiostoma*. The similarity between the studied fungal species *O. piceae* and *O. floccosum* suggests common adaptive traits that ensure adaptation to a parasitic lifestyle in xylophilic ecosystems. Moreover, the morphological and physiological variability of *Ophiostoma* species on various nutrient substrates indicates its adaptive potential, including the ability to form specialized structures in response to changing environmental conditions. Variations in the coloration of reverse colonies and the development of synnemata-like formations is likely associated with the activation of specific biosynthetic pathways, as well as modifications of the metabolic profile depending on the availability of macro- and microelements, carbohydrates, and other nutrients.

A comparative analysis of the cultural characters of the studied *Ophiostoma* species on various nutrient media revealed both general morphological trends (the presence of concentric growth zones, sporulation localized in the central part of the colony, and the formation of conidial structures in the form of synnemata) and substrate-dependent characteristics. For example, on starch-rich media (potato glucose and potato dextrose agar), intensive mycelial development with the formation of dense spore-bearing structures and synnemata is observed, as well as increased pigment production (e.g., dark brown reverse pigment), which may indicate increased secondary metabolic activity, including the synthesis of melanin-like compounds. In contrast, on sugar-rich substrates (carrot and malt agar), colony growth accelerates, and spore formation is less intense, but retains an adaptive function - localization of conidial structures in the central zone, where microclimate conditions (humidity, temperature) can be optimal for maintaining the viability of spores.

The structural features of the spore-bearing structures of species of the genus *Ophiostoma* in natural conditions, including the formation of fan-shaped synnemata and drop-shaped accumulation of conidia at their apex, can be interpreted as morpho-physiological adaptations aimed at improving the conditions for the spore dissemination due to gravitational or water transfer, or protection from unfavorable factors (UV radiation, drying out) through the formation of protective pigments and the mycelium structural modifications.

Thus, a comprehensive study of the morphology of fungi of the genus *Ophiostoma* allows not only to clarify the characters of the species, but also to trace the mechanisms of ecological adaptations associated with a parasitic lifestyle on coniferous trees.

вание конидиальных структур в виде коремиев), так и субстратно-зависимые особенности. Так, на богатых крахмалистыми соединениями средах (картофельно-глюкозном и картофельно-декстрозном агаре) отмечается интенсивное развитие мицелия с образованием плотных спороносящих структур и формированием коремиев, а также усиленная продукция пигментов (например, темно-коричневый реверс), что может свидетельствовать о повышенной активности вторичного метаболизма, включая синтез меланиноподобных соединений. В то же время на богатых сахарами субстратах (морковном и солодовом агаре) рост колонии ускоряется, а спорообразование носит менее интенсивный характер, но сохраняет адаптивную функцию – локализацию конидиальных структур в центральной зоне, где условия микроклимата (влажность, температура) могут быть оптимальными для сохранения жизнеспособности спор.

Структурные особенности спороносящих структур видов рода *Ophiostoma* в естественных условиях, в том числе образование коремиев в виде веера и каплевидное скопление конидий на их верхушках, могут интерпретироваться как морфофизиологические адаптации, направленные на улучшение условий диссеминации спор за счет гравитационного или водного переноса либо на защиту от неблагоприятных факторов (УФ-излучение, пересыхание) посредством образования защитных пигментов и структурных модификаций мицелия.

Таким образом, комплексное изучение морфологии грибов рода *Ophiostoma* позволяет не только уточнить особенности вида, но и изучить механизмы экологических приспособлений, связанные с паразитическим образом жизни на хвойных породах деревьев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашенова Н.В. Изучение грибов синевы древесины в хвойных лесах Центральной Сибири / Н.В. Пашенова, Г.Г. Полякова, Е.Н. Афанасова // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – Т. 26, № 1. – С. 22–27. EDN KJVPLN.
2. Фомин Д.С. Сравнительная оценка эффективности ловушек для мониторинга кородея *Polygraphus proximus* Blandford / Д.С. Фомин, Е.Н. Арбузова, Д.С. Фомин [и др.] // Фитосанитария. Карантин растений. – 2026. – № 2 (27). – С. 11–24. DOI: 10.69536/FKR.2026.11.88.001. EDN LQGRYA.
3. Романенко М.О. Микобиота *Ips sexdentatus* (Börner, 1776) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) на территории Беларуси / М.О. Романенко, С.В. Пантелеев, А.А. Сазонов, Л.О. Иващенко // Энтомологическое обозрение. – 2023. – Т. 102, № 3. – С. 451–465. DOI: 10.31857/S036714452303005X. EDN XORORU.
4. Linnakoski R., De Beer Z.W., Ahtiainen J., Sidorov E., Niemelä P., Pappinen A., et al. *Ophiostoma* spp. associated with pine- and spruce-infesting bark beetles in Finland and Russia // Persoonia. – 2010. – № 25. P. 72–93.
5. Kirisits T. Fungal associates of European bark beetles with emphasis on the *Ophiostomatoid fungi* // In: Lieutier F., Day K.R., Battisti A., Grégoire J.-C., Evans H. (eds.). Bark and wood boring insects in living trees

REFERENCES

1. Pashenova N.V. Study of sapstain fungi in coniferous forests of Central Siberia [Izucheniye gribov sinevy drevesiny v khvoynykh lesakh Tsentral'noy Sibiri] / N.V. Pashenova, G.G. Polyakova, E.N. Afanasova // Conifers of the boreal zone. – 2009; 26 (1): 22–27. – EDN KJVPLN. (In Russ.)
2. Fomin D.S. Comparative evaluation of the traps effectiveness for monitoring the spread of *Polygraphus proximus* Blandford / D. S. Fomin, E. N. Arbuzova, D. S. Fomin [et al.] // Plant Health and Quarantine. – 2026; 2(27): 11–24. – DOI 10.69536/FKR.2026.11.88.001. – EDN LQGRYA.
3. Romanenko M. O. Mycobiota of *Ips sexdentatus* (Börner, 1776) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) in Belarus [Mikobiota *Ips sexdentatus* (Börner, 1776) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) na territorii Belarusi] / M. O. Romanenko, S. V. Panteleev, A. A. Sazonov, L. O. Ivaschenko // Entomological Review. – 2023; 102(3): 451–465. – DOI 10.31857/S036714452303005X. – EDN XORORU. (In Russ.)
4. Linnakoski R, De Beer ZW, Ahtiainen J, Sidorov E, Niemelä P, Pappinen A, et al. *Ophiostoma* spp. associated with pine- and spruce-infesting bark beetles in Finland and Russia // Persoonia. – 2010. – № 25. P. 72–93.
5. Kirisits T. Fungal associates of European bark beetles with emphasis on the *Ophiostomatoid fungi* // In: Lieutier F, Day KR, Battisti A, Grégoire J-C, Evans H (eds), Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a Synthesis. Springer, Dordrecht. – 2007. – Chapter 10. – P. 181–235.
6. Malloch DW, Blackwell M. Dispersal biology of the *Ophiostomatoid fungi* // In: Wingfield MJ, Seifert KA, Webber J (eds), *Ceratocystis* and *Ophiostoma*: Taxonomy, ecology and pathogenicity. APS Press, Minnesota. – 1993. – Part IV. – Chapter 21. – P. 195–207.
7. Wingfield MJ, Seifert KA, Webber JF (eds). *Ceratocystis* and *Ophiostoma*: Taxonomy, ecology and pathogenicity. APS Press, St Paul, MN., 1993. – 293 p.20
8. Sinkevich O. V. Growth characteristics of *Ophiostoma floccosum* Mathiesen-KaArik and *Ophiostoma piceae* (Munch) Syd. & P. Syd. on various nutrient media / O. V. Sinkevich, T. A. Surina, M. B. Kopina [et al.] // Plant Health and Quarantine. – 2026; S2 (27A): 62–63. – EDN OEPPVL.
9. Rsaliyev A. S. Morphological and cultural characters of the growth of the fungus *Pyricularia oryzae* on agar nutrient media / A. S. Rsaliyev, N. T. Amirkhanova, Zh. U. Pakhratdinova, G. Sh. Yskakova // Science News of Kazakhstan. – 2015; 3 (125): 97–110. – EDN XTDFR.
10. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. Randomization and bootstrap: statistical analysis in biology and ecology using R. - Tolyatti: Kassandra, 2013. - 314 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga Sinkevich, PhD in Agriculture, Senior Researcher, Severomorsk Branch of FGBU “VNIIEK”, Petrozavodsk, Russia; *ORCID:0009-0005-1164-7373*, e-mail: *ovbio@mail.ru*

in Europe, a Synthesis. Springer, Dordrecht. – 2007. – Chapter 10. – P. 181–235.

6. Malloch D.W., Blackwell M. Dispersal biology of the *Ophiostomatoidei* fungi // In: Wingfield M.J., Seifert K.A., Webber J. (eds.). *Ceratocystis* and *Ophiostoma*: Taxonomy, ecology and pathogenicity. APS Press, Minnesota. – 1993. – Part IV. – Chapter 21. – P. 195–207.

7. Wingfield M.J., Seifert K.A., Webber J.F. (eds.). *Ceratocystis* and *Ophiostoma*: Taxonomy, ecology and pathogenicity. APS Press, St. Paul, MN., 1993. – 293. – P. 20.

8. Синкевич О.В. Особенности роста *Ophiostoma floccosum* Mathiesen-Käärik и *Ophiostoma piceae* (Münch) Syd. & P. Syd. на различных питательных средах / О.В. Синкевич, Т.А. Сурина, М.Б. Копина [и др.] // Фитосанитария. Карантин растений. – 2026. – № S2 (27A). – С. 62–63. EDN OEPPVL.

9. Рсалиев А.С. Морфолого-культуральные особенности роста гриба *Pyricularia oryzae* на агаризованных питательных средах / А.С. Рсалиев, Н.Т. Амирханова, Ж.У. Пахратдинова, Г.Ш. Ыскакова // Новости науки Казахстана. – 2015. – № 3 (125). – С. 97–110. EDN XTDXFR.

10. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. – Тольятти: Кассандра, 2013. – 314 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Синкевич Ольга Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Североморского филиала ФГБУ «ВНИИКР», Петрозаводск, Россия; ORCID: 0009-0005-1164-7373; e-mail: ovbio@mail.ru

Щуковская Анастасия Геннадиевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела лесного карантина ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0000-0001-9787-8351; e-mail: schukovskaya.a@vniikr.ru

Сурина Татьяна Александровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0000-0002-0463-5762; e-mail: t.a.surina@yandex.ru

Лябзина Светлана Николаевна, доктор биологических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет ПетрГУ, научный сотрудник Североморского филиала ФГБУ «ВНИИКР», Петрозаводск, Республика Карелия, Россия; ORCID: 0000-0003-3386-5724; e-mail: slyabzina@petrsu.ru

Зайцева Лидия Валерьевна, младший научный сотрудник центра коллективного пользования «Молекулярная генетика» ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0009-0004-3678-406X; e-mail: lidiya.zaitzeva26@yandex.ru

Копина Мария Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник научно-методического отдела микологии и гельминтологии ФГБУ «ВНИИКР», пгт Быково, м. о. Раменский, Московская обл., Россия; ORCID: 0000-0002-1613-1764; e-mail: kopinamaria645@gmail.com

Anastasia Shchukovskaya, PhD in Biology, Senior Researcher, Forest Quarantine Department, FGBU «VNIKIR», Moscow Oblast, Ramenskoye, Bykovo, Russia; ORCID ID: 0000-0001-9787-8351; e-mail: schukovskaya.a@vniikr.ru

Tatiana Surina, PhD in Biology, Leading Researcher, Research and Methodology Department of Mycology and Helminthology, FGBU «VNIKIR», Moscow Oblast, Ramenskoye, Bykovo, Russia; ORCID: 0000-0002-0463-5762, e-mail: t.a.surina@yandex.ru

Svetlana Lyabzina, Advanced Doctor of Biology, Professor, Petrozavodsk State University, Researcher of the Severomorsk branch of FGBU «VNIKIR», Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia; ORCID 0000-0003-3386-5724; e-mail: slyabzina@petrsu.ru

Lydia Zaitseva, Junior Researcher, Center for Collective Use «Molecular Genetics», FGBU «VNIKIR», Moscow Oblast, Ramenskoye, Bykovo, Russia; ORCID 0009-0004-3678-406X; e-mail: lidiya.zaitzeva26@yandex.ru

Maria Kopina, PhD in Agriculture, Leading Researcher, Research and Methodology Department of Mycology and Helminthology, FGBU «VNIKIR», Moscow Oblast, Ramenskoye, Bykovo, Russia; ORCID: 20000-0002-1613-1764; e-mail: kopinamaria645@gmail.com