

Российская Федерация, Краснодарский край  
Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования  
«Центр дополнительного образования «Хоста» муниципального образования городской  
округ г.-к. Сочи

---

354067 г. Сочи ул. Ялгинская д. 16А, 8 (862) 265-49-09, Факс: 8 (862) 265-35-44

## **«Сравнительный анализ ферментов грибов, участвующих в разложении граба обыкновенного и дуба черешчатого. Молекулярный докинг»**

Секция: Ландшафтная экология и почвоведение

**Выполнила:**

Болатаева Лия Автандиловна, 10 класс  
ЦДО «Хоста» г. Сочи,  
МОБУ СОШ №18 им. Мачуленко А. С.  
г. Сочи

**Руководитель:**

Кузнецова Анна Николаевна,  
педагог д. о.  
ЦДО «Хоста» г. Сочи

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	3
2.	ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
2.1	Экологическая важность деструкции древесины.....	5
2.2	Ферменты грибов-деструкторов.....	5
2.3	Зависимость скорости деструкции от пород деревьев, и вида деструктора .....	5
2.4	Применение молекулярного докинга в экологии.....	6
3.	ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	
3.1	Методика проведения исследования.....	8
3.2	Сравнительный анализ полученных результатов.....	8
3.3	Сравнительный анализ ферментного состава грибов.....	10
3.4	Связывание целлюлозы с экзоглюканазой.....	10
4.	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	12
5.	Список литературы.....	13
6.	Приложения	

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В любом биогеоценозе грибы выполняют важнейшую функцию разложения органических веществ, в основном растительного происхождения [1]. Роль грибов-деструкторов в природе неоднозначна. С одной стороны, развиваясь на живых деревьях они способны наносить огромный ущерб - разрушают древесину, ослабляют корневую систему, приводя к преждевременной гибели деревьев. С другой стороны, они являются своеобразными «санитарами леса», поселяясь на ослабленных деревьях, перерабатывая валежник и сухостой. Изучение микогенной деструкции актуальная тема, что доказывают многочисленные исследования [2,3,4].

Переработка древесины в ландшафтной экологии является важным инструментом для достижения устойчивого развития. Она позволяет эффективно использовать древесные ресурсы, снижать негативное воздействие на окружающую среду и способствовать сохранению природных ландшафтов.

Если мы будем знать, как наиболее эффективно разлагать древесину, то сможем быстро возвращать питательные вещества в почву, поддерживая таким образом плодородие и биоразнообразие. В контексте борьбы с валежником, деструкция может быть использована как эффективный способ управления лесными ресурсами и поддержания здоровья экосистем.

Деструкция древесины — это естественный процесс, он протекает с различной скоростью и зависит от факторов окружающей среды — биологических и климатических в большей степени. Породы деревьев значительно отличаются друг от друга по физико-механическим свойствам, в связи с этим нам стало интересно как изменится скорость деструкции, в зависимости от вида дерева.

**Цель:** провести сравнительный анализ ферментов грибов, участвующих в микогенной деструкции на примере граба обыкновенного и дуба черешчатого в условиях г. Сочи.

**Задачи:**

1. Провести наблюдения в природных условиях за микогенной деструкцией, изучаемых пород;
2. Определить виды грибов-деструкторов, их ферментный комплекс;
3. Провести эксперименты на микостойкость древесины граба обыкновенного и дуба черешчатого;
4. Изучить взаимодействие целлюлозы с экзоглюканазой с помощью молекулярного докинга.

**Объект исследования:** ферменты дереворазрушающих грибов граба обыкновенного и дуба черешчатого.

**Предмет исследования:** влияние ферментов на скорость разрушения древесины. Определение карманов связывания фермента экзоглюканазы с целлюлозой.

**Гипотеза исследования:** скорость деструкции древесины зависит от вида, поселившихся на нем грибов, так как у них разные ферментные комплексы. При горизонтальном распиливании древесины скорость деструкции увеличится в

несколько раз, так как более плотная структура коры и наличие в ней дополнительных защитных веществ замедляет процесс.

С 2022 года мы проводили эксперимент на деструкцию древесины дуба и граба обыкновенного в природных условиях Кудепстинского лесничества. Нами был собран большой практический материал по видам грибов деструкторов. В ходе работы они были определены и систематизирован их ферментный состав.

В ходе консультаций по результатам работы с учеными (М. А. Сафонов – IT-куб г. Оренбурга, И. С. Тонкий ИТМО, г. Санкт-Петербург) нам было предложено использовать молекулярный докинг для обоснования высокой скорости разложения дуба черешчатого.

Молекулярный докинг позволяет смоделировать взаимодействия молекулы фермента, который участвует в разложении древесины. С помощью этого метода мы пытались понять почему одни виды быстрее других разрушают древесину. Цель — предсказать наиболее выгодную для образования устойчивого комплекса ориентацию и конформацию одной молекулы - лиганда, в сайте связывания рецептора.

С помощью молекулярного докинга мы определяли, какие аминокислоты играют ключевую роль в связывании целлюлозы.

Эти данные важны для биотехнологии, так как экзоглюканазы применяются в промышленности для переработки целлюлозы, производства биотоплива и биоразлагаемых материалов.

Молекулярный докинг помогает моделировать взаимодействия между молекулами и открывает новые возможности для создания эффективных биотехнологических решений.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Экологическая важность деструкции древесины

Древесина является одним из древних и широко распространенных строительных материалов. Она и в настоящее время широко используется в качестве различных деревянных конструкций, элементов при сооружении жилых домов, объектов промышленного, административного, культурного и спортивного назначения [5].

На древесину в процессе эксплуатации воздействует целый ряд факторов окружающей среды, приводя к ее старению и разрушению. Среди них: — климатические (УФ — излучение, влажность, ветровые нагрузки, кислород воздуха) и биологические (грибные поражения, поражения насекомыми, бактериями, водорослями).

В настоящее время известно более 1000 видов дереворазрушающих грибов, способных поселяться и вызывать разрушение древесины, на территории России из них описаны 850 видов [6].

Разложение древесины важно для экосистем. Этот процесс обеспечивает возврат вещества и энергии в круговорот биогеоценоза.

Научные знания об экологической роли «мёртвой» древесины применяются в современном лесном хозяйстве. Практика сохранения «мёртвой» древесины используется на ООПТ для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия.

### 2.2 Ферменты грибов-деструкторов

Ферменты грибов-деструкторов — это экзоферменты, выделяющиеся для разложения органических субстратов, в основном растительного происхождения. Они способны разлагать то, что не могут другие микроорганизмы, благодаря их большого ферментного списка. В разрушении древесины ферменты разлагают сложные полимеры на более простые.

Наиболее часто встречающимися являются: целлюлазные, ксилазные, гидролазы, гидролазы и оксидоредуктазы [7]. Скорость работы ферментов во многом зависит от условий окружающей среды и доступность субстрата, чем его больше, тем выше экспрессия.

### 2.3 Зависимость скорости деструкции от пород деревьев, и вида деструктора

Древесина — это волокнистый материал с ярко выраженной анизотропией. У всех пород древесины механические характеристики очень отличаются поперек и вдоль волокон.

Клетки древесины подразделяются на три группы: проводящие (трахеи и сосуды), механические (либроформовые волокна) и запасные (паренхимные).

В зависимости от расположения проводящих клеток все породы древесины подразделяются на: рассеянно-сосудистые и кольцесосудистые. Основной составной частью любой древесины являются волокна либроформа, которые занимают около 70% объема [9].

Химический состав различных пород практически ничем не отличается. Углерод занимает большую часть – почти 51%, 43% кислорода, 6,4% водорода и 0,1 азота.

Дуб благодаря своим хорошим физико-механическим свойствам широко используется в различных видах промышленности и в мебельном производстве. Имеет высокую прочность и твердость. Древесина устойчива к возникновению гнилостных процессов. Но при пониженных температурах стает довольно хрупкой и начинает растрескиваться. Дуб хорошо обрабатывается и пропитывается, довольно легко гнется и отличается красивой текстурой [10].

Древесина граба твёрдая, прочная, устойчива против истирания, в качестве строительного материала малопригодная из-за кривизны ствола. Из граба изготавливают музыкальные инструменты, шпон, токарные изделия, рукоятки инструмента и сапожные колодки, паркет.

У каждого гриба-деструктора свой набор ферментов. Скорость разложения древесины ферментами будет зависеть от активности их систем, комплекса ферментов и от того, насколько интенсивно грибы их вырабатывают. Если один вид гриб с идентичным ферментным списком поселится на различных породах деревьев – скорость деструкции будет отличаться, из-за свойств древесины, ее устойчивости к разложению.

Для деструкции характерны окислительные реакции, гидролитическое расщепление и регулирование активности ферментов.

#### 2.4 Применение молекулярного докинга в экологии

Молекулярный докинг используется в экологии для моделирования взаимодействия комплекса «лиганд + белок». Он предсказывает карман связывания лиганда с белком, а также помогает оценить силу связывания и стабильность образовавшегося комплекса [8].

Докинг можно рассматривать как поиск энергетически выгодного положения «ключа» или лиганда в «замке», которым является белок. В классическом докинге белок чаще всего рассматривается как жёсткое тело с фиксированными координатами атомов, для лиганда допускается существование множества конформаций. В более развитых вариантах учитывается подвижность лиганда и оценивается энергия связывания белок-лиганд [7].

Это метод, который позволяет предсказать, как именно молекула лиганда (целлюлоза) будет взаимодействовать с белком (фермент).

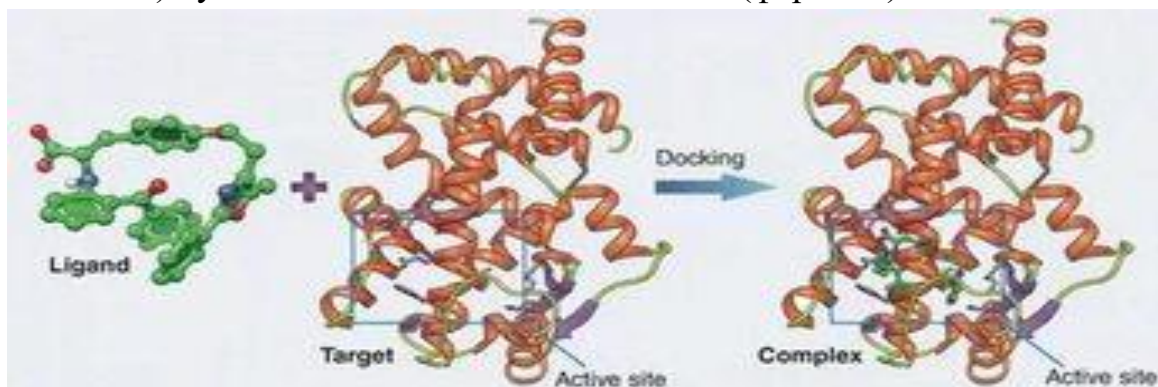


Рис. 1 Взаимодействие лиганда с белком

В экологии молекулярный докинг используют для удаления загрязняющих веществ, оценки энергии взаимодействия молекул с белками, выявление веществ, имеющие энергию связи, близкую к значениям, полученным для ингибитора, и генерация 3D-структур комплексов.

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Методика проведения исследования

Оценка скорости деструкции древесины проводилась нами по методике Т.Н. Степановой и В.А. Мухина [11], которая основана на закладке в подстилку образцов древесины. Нами были приготовлены образцы из древесины дуба черешчатого и граба обыкновенного длиной 25-35 см. Подготовленные образцы нумеровали. Взвешивали образцы как во влажном состоянии, так и в сухом. Образцы были высушены в сушильном шкафу при температуре 104° С в течение 12 часов, после чего был определен сухой вес древесины. Затем, высушенные образцы помещали на подстилку на отмеченных стационарных участках, по 3 образца на каждом участке.

На протяжении исследования образцы были изъяты, и взвешены без высушивания, так как на поверхности растут грибы-деструкторы. Величина разложения оценивалась на основании данных по изменению массы образцов за установленный период времени. По три образца были взяты за контроль и размещены в месте, где затруднен доступ грибов-деструкторов к древесине. Визуально оценивали изменение окраски древесины, изменение структуры. Проводили взвешивание каждого из образцов. Описывали состояние грибов-деструкторов на поверхности образцов. Краткая суть каждого из опытов представлена в таблице (Таблица 1, Приложение 1).

Для закладки образцов нами было выделено 4 стационарных участка с преобладанием старовозрастных деревьев.

При завершении работы были определены виды грибов деструкторов и проведен анализ комплекса ферментов данных видов.

На примере экзюкюканазы был определен список аминокислот, участвующих в связывании фермента с целлюлозой.

Нас интересовал белок, полученный из гриба Фульводерма табачная (*Fulvoderma tabacinum*), но в Protein Data Bank (PDB) данных о его структуре не оказалось. Поэтому мы использовали аналогичный фермент из другого организма – *Trichoderma reesei*, так как его экзюкюканаза имеет схожие свойства.

Для анализа применялись программные инструменты AutoDock Vina (для предсказания взаимодействий) и PyMOL (для визуализации).

#### 3.2 Сравнительный анализ полученных результатов

Оценивание деструкции граба обыкновенного проводили с помощью визуальной оценки изменения окраски, изменения структуры и прочности оценивали в соответствии с изменением веса образцов. В ходе работы мы использовали 4 стационарных участка (Приложение 2, Таблица 2).

Контрольные образцы остались прежними.

Во втором эксперименте активно деструкция проходила активнее. Появились грибы- деструкторы на поверхности, изменился цвет и структура древесины. Масса сначала уменьшилась, а потом стала больше. Мы связываем

это с тем, что переместили образцы в место, где вентиляция воздуха меньше, и после дождей образцы напитались водой и не высыхают. Затем масса постепенно стала уменьшаться.

В ходе эксперимента 3 заселение щелелистником произошло только спустя 6 месяцев после начала эксперимента. Масса образцов изменилась меньше, чем в ходе эксперимента 2 со стереумом войлочковым (заселения этим видом не произошло). Видимые процессы деструкции начались в ноябре. В апреле 2023 года мы переместили образцы под ствол дерева вместе с образцами эксперимента 2. Несмотря на незначительное удаление от первоначального размещения образцов их масса, как и в эксперименте 2 стала больше. Мы связываем это с большей влажностью и меньшей вентиляцией в месте размещения.

Наибольшие изменения наблюдались в эксперименте 8, где все исходные образцы были заселены грибом-деструктором *фульводермой табачной*, к которой в мае 2023 года добавился еще один вид гриба-деструктора, а затем другие виды.

Для анализа деструкции дуба черешчатого была использована сводная таблица с данными по изменению массы образцов, заселению их деструкторами и изменению окраски. Скорость деструкции выше, чем у граба обыкновенного, что мы связываем с их различными физико-механическими свойствами. Ни на одном из образцов дуба не появилось гнилей (кроме поперечного распила), в отличие от граба, но скорость и интенсивность заселения грибами деструкторами у дуба выше, также выше их разнообразие.

Наибольшая скорость деструкции в эксперименте 7, где дуб был изначально заселен грибами деструкторами. В июле 2023 года взвесить образцы эксперимента 7 уже не представлялось возможным, так как они достигли конца третьей стадии деструкции.

В эксперименте 5 произошло заселение *Гифодонтией лопатчатой*, *Базидиорадулумом рашпилевидным*. Изначально пытались заселить стереумом войлочковым, но видимых признаков данного вида нами обнаружено за два года не было. В данном эксперименте стадии гниения сменялись крайне медленно, и за два года достигла только «твердой» стадии.

В эксперименте 6, с изначально заселенными образцами *Щелелистника обыкновенного* наблюдали рост массы, что связываем с напитыванием водой после дождей. По остальным параметрам древесина достигла третьей стадии гниения. Грибы-деструкторы появились на поверхности осенью 2022 года. Помимо щелелистника, на поверхности также за два года прижились *Антродия извилистая*, *Церипория высокая* и *Гифодонтия лопатчатая*.

В эксперименте 7 чаще всего сменялись виды грибов-деструкторов, из определенных: *Губка дубовая*, *Гименохете табачно-бурый*, *Церипория высокая*, *Стереум нежноволокочковый*, *Сцитинострома молочно-белая*. Это единственный эксперимент, в ходе которого образцы подверглись за два года полной деструкции – стадии гниения «дупло», оно характеризуется полным разложением древесины – гумификация и минерализация.

### 3.3 Сравнительный анализ ферментного состава грибов

Каждый гриб обладает своим ферментным списком, зная его можно определить какие субстраты он может разрушать, что в дальнейшем можно будет целенаправленно использовать, например, для переработки отходов, очистки почвы, воды и воздуха, получения биотоплива и биохимикатов, в медицине, а также для производства пищи и текстиля. С помощью ферментного списка в будущем можно будет перейти с химической промышленности к био-экономике, т.е. на возобновляемые ресурсы

Сравнив гидролитические ферменты наших грибов-деструкторов (Приложение 4), мы выяснили, что почти у всех грибов он одинаковый, но различный по количеству. Единственный гриб, у которого отличались ферменты оказалась Фульводерма табачная, отличилась своей гемицеллюлазой и лигиназой.

Благодаря списку становится более понятно почему грибы селились именно в такой последовательности, сначала были грибы способные эффективно разлагать лигнин, целлюлозу, гемицеллюлозу и которые вызывают белую гниль, например, Бисконьяуксия монетовидная и Траметес разноцветный, далее селились грибы, поселяющиеся на уже доступной для них целлюлозе, разлагают основной энергетический ресурс и вызывающие бурую и мягкую гниль, например, Фульводерма табачная и Щелелистник обыкновенный, а после уже те, кто «доедает» остатки, например, Ксилодон лопаточковидный и Гифодонтia радула.

### 3.4 Связывание целлюлозы с экзоглюканазой

Мы взяли структуру фермента экзоглюканазы из базы PDB (файл 1CEL.pdb), содержащий координаты всех атомов белка.

Чтобы определить активный центр – область, куда может присоединиться молекула целлюлозы, – мы использовали программу CASTp. Этот инструмент рассчитывает форму белка и находит потенциальные карманы для связывания лиганда.

После определения активного центра мы использовали программу AutoDock Vina для проведения молекулярного докинга. Это метод, который позволяет предсказать, как именно молекула лиганда (целлюлоза) будет взаимодействовать с белком.

В результате докинга были определены ключевые аминокислоты, участвующие в связывании:

- ASP-173 (аспарагиновая кислота)
- PHE-146 (фенилаланин)
- TYR-145 (тирозин)
- ARG-107 (аргинин)
- SER-365 (серин)

После завершения докинга мы использовали PyMOL для визуализации комплекса «белок + лиганд».

В ходе анализа были выявлены:

- ✓ Положение молекулы целлюлозы внутри белка.

- ✓ Аминокислоты, которые участвуют в связывании.
- ✓ Водородные связи, стабилизирующие лиганд в активном центре.

Для наглядности:

- Белок отображён в виде каркасной модели - розового цвета
- Лиганд (целлюлоза) – в палочковой модели - зелено-красного цвета.
- Водородные связи – показаны пунктирными желтыми линиями

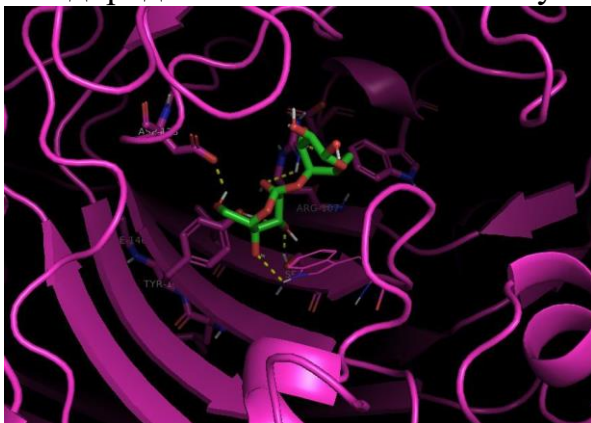
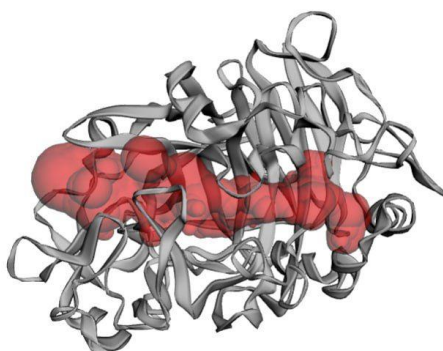


Рис. 2 Карман связывания



Рис. 3 Белок PDB ID 1CEL



mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode	
		rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-7.5	0.000	0.000
2	-7.2	9.446	12.229
3	-7.2	14.072	16.907
4	-7.1	14.270	17.256
5	-7.1	2.030	3.496
6	-7.1	1.157	2.676
7	-7.1	4.183	7.570
8	-6.9	6.153	8.436
9	-6.9	2.855	4.553

Рис. 4-5 Карман связывания, который предсказал алгоритм CASTp3.0

Первоначально нас интересовал фермент из *Fulvoderma tabacinum*, но из-за отсутствия его структуры в базе данных мы использовали аналогичный белок из *Trichoderma reesei*. В результате молекулярного докинга мы определили, какие аминокислоты играют ключевую роль в связывании целлюлозы.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью нашей работы было провести сравнительный анализ ферментов грибов, участвующих в микогенной деструкции на примере граба обыкновенного и дуба черешчатого в условиях г. Сочи.

В ходе работы были сделаны следующие выводы:

2. В ходе работы был проведен сбор образцов и наблюдение за микогенной деструкцией, изучаемых пород.
3. Были определены 16 видов грибов деструкторов и их ферментный комплекс.
4. В ходе экспериментов было установлено, что микостойкость дуба черешчатого в условиях субтропического климата г. Сочи, ниже, чем микостойкость граба обыкновенного.
5. Наглядно рассмотрели взаимодействие целлюлозы с экзоглюканазой с помощью молекулярного докинга. Выявили какие аминокислоты играют ключевую роль в связывании целлюлозы.

## 5. Список литературы

1. Трифонова, С. Н. Особенности видового состава и биология грибов-деструкторов некоторых районов Нижегородской области / С. Н. Трифонова, П. И. Кандальникова // Молодой ученый. — 2014. — № 21.1 (80.1). — С. 257-259.
2. Богомолова О. И. Характеристика процесса микогенного разложения древесины *Quercus robur* L. на территории оренбургского Предуралья // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9-10. — С. 2191-2194
3. Сафонов М. А. Вклад микогенной деструкции древесины в формирование микроклимата лесов южного Приуралья // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10-12. — С. 2674-2678
4. Грибы-деструкторы памятников культуры Астраханской области [Электронный ресурс]. — М.: Литературный журнал. — Режим доступа: <http://www.newreferat.com/ref-43894-4.html>
5. Сафонов М.А. Скорость микогенной деструкции древесины в лесах южного Приуралья // Вестник ОГУ. — 2006. - №2. — С. 18-21
6. Liu Zhifeng [и др.], Применение молекулярного докинга для разложения органических загрязнителей в процессе восстановления окружающей среды / [Электронный ресурс] / RSC Advances. — 2018. — Vol. 8, iss. 21. — Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29614407/>.
7. Петрушин И. С., Метод молекулярного докинга для поиска лигандов, ингибирующих синтез бактериальной целлюлозы [электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.mse.biophys.msu.ru/archive/doc366353/rus.pdf>
8. Грибные поражения деревянных конструкций в зданиях и сооружениях [электронный ресурс]// Bstudy. — Режим доступа: [https://bstudy.net/882747/agro/gribnye\\_porazheniya\\_derevyannyh\\_konstruktsiy\\_zdaniyah\\_sooruzheniyah](https://bstudy.net/882747/agro/gribnye_porazheniya_derevyannyh_konstruktsiy_zdaniyah_sooruzheniyah)
9. Грибы, как источники биоповреждений [электронный ресурс]// Kazedu. — Режим доступа: <https://kazedu.com/referat/130587/1>
10. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение / Б. Н. Уголев. — М.: Издательство московского университета леса, 2007. — 353 с.
11. Степанова, Н. Т. Основы экологии дереворазрушающих грибов. Баланс веществ микогенного разложения древесины / Н. Т. Степанова, В. А. Мухин. — М.: Наука, 1979. — 101 с.

## Приложение 1

Таблица 1. Описание экспериментов

№ эксперимента	Порода дерева и вид-деструктор (если имеется)	Описание эксперимента
Эксперимент 1	Контроль <i>граб обыкновенный</i>	3 контрольных образца, взвешенные, затем высушенные по методике и взвешенные повторно
Эксперимент 2	<i>Граб обыкновенный</i> ( <i>Стереум войлочковый</i> )	3 образца, взвешенные, затем высушенные по методике и взвешенные повторно. В дальнейшем размещены под гименофором <i>стереума войлочкового</i> на 30 минут. Затем оставлены на стационарном участке.
Эксперимент 3	<i>Граб обыкновенный</i> ( <i>Щелелистник обыкновенный</i> )	3 образца, взвешенные, затем высушенные по методике и взвешенные повторно. В дальнейшем размещены под гименофором <i>щелелистника обыкновенного</i> на 30 минут. Затем оставлены на стационарном участке.
Эксперимент 4	Контроль дуб черешчатый	3 контрольных образца, взвешенные, затем высушенные по методике и взвешенные повторно
Эксперимент 5	Дуб черешчатый ( <i>Стереум войлочковый</i> )	3 образца, взвешенные, затем высушенные по методике и взвешенные повторно. В дальнейшем размещены под гименофором <i>стереума войлочкового</i> на 30 минут. Затем оставлены на стационарном участке.
Эксперимент 6	Дуб черешчатый ( <i>Щелелистник обыкновенный</i> )	3 образца, взвешенные, затем высушенные по методике и взвешенные повторно. В дальнейшем размещены под гименофором <i>щелелистника обыкновенного</i> на 30 минут. Затем оставлены на стационарном участке.

Таблица 1. Описание экспериментов (продолжение)

№ эксперимента	Порода дерева и вид-деструктор (если имеется)	Описание эксперимента
Эксперимент 7	Дуб черешчатый, заселенный деструкторами	3 образца, взвешенные. Затем оставлены на стационарном участке.
Эксперимент 8	Граб обыкновенный, заселенный <i>геменохетой табачной</i>	3 образца граба обыкновенного, не подвергающиеся высушиванию. Поверхность заселена <i>геменохетой табачной</i> . После взвешивания были оставлены на стационарном участке.
Эксперимент 9	Опыт с дубом черешчатым, срез	Два образца поперечного среза дуба черешчатого, взвешены и размещены на стационарном участке. Высушиванию не подвергались.

## Приложение 2

Таблица 2. Описание участков

<b>Краткое описание стационарных участков</b>	<b>№ 1</b>	<b>№ 2</b>	<b>№ 3</b>	<b>№ 4</b>
<b>Координаты</b>	43.505794, 39.890653	43.505788, 39.890748	43.505820, 39.890716	43.505831, 39.890753
<b>Влажность</b>	Умеренно влажно	Очень влажно	Умеренно влажно	Очень влажно
<b>Ветер</b>	Хорошая циркуляция воздуха	Плохая циркуляция воздуха	Хорошая циркуляция воздуха	Безветренный участок
<b>Солнечный свет</b>	Присутствует	Присутствует, но находится в тени от упавшего дерева	Присутствует	Отсутствует
<b>Высота над уровнем моря</b>	+- 72 метра			
<b>Тип биотопа</b>	Лесной биотоп			
<b>Место участка</b>	Открытое пространство	Рядом с + булавшим деревом	Под кустарником, средней густоты	Под лежащим деревом
<b>Антропогенная нагрузка</b>	Рядом со стационарными участками в (от 2-х до 5 метров) проходит тропа со значительной антропогенной нагрузкой, дорога ведет к «Жертвенному камню» и роще секвой			
<b>Тип подстилки</b>	В колхидских лесах нет определенного типа подстилки, отсутствует лесная подстилка, так как мощный смешанный опад в условиях теплого и влажного климата быстро разлагается			

## Приложение 3.

Видовой состав грибов деструкторов  
и их гидролитические ферменты

Вид: *Fulvoderma tabacinum*  
 (Фульводерма табачная)  
 Род: *Fulvoderma, Kotlaba u Pouzar,*  
 Семейство: *Hymenochaetaceae, Gäumann, 1926*  
 Отряд: *Hymenochaetales*  
 Класс: *Agaricomycetes, Dovel, 2001*  
 Отдел: *Basidiomycota, Whittaker ex Moore, 1980*  
 Подцарство: *Dikarya (Высшие грибы) Hibbett, 2007*  
 Царство: *Fungi, R.T.Moore, 1980*

Вид гриба присутствовал изначально и согласно методике, не подвергаясь высушиванию был размещен на стационарном участке. *Фульводерма табачная* является грибом, который образует ферментные комплексы, способствующие разложению органических веществ. Эти ферменты играют ключевую роль в экосистемах, обеспечивая переработку древесины и других растительных остатков.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

- Эндо- $\beta$ -1,4-целлюлаза (ЕС 3.2.1.4)
- Экзоглюканаза (ЕС 3.2.1.91)
- $\beta$ -глюкозидаза (ЕС 3.2.1.21)

**Лигиназы:**

- Лигиназа (ЕС 1.14.11.9) — фермент, участвующий в окислении лигнина.

**Гемицеллюлазы:**

- Эндо- $\beta$ -1,4-гемицеллюлаза (ЕС 3.2.1.52)
- Экзоглюканаза для гемицеллюлоз (различные изоформы)

**Пектиновые ферменты:**

- Пектинэстераза (ЕС 3.1.1.11)
- Пектинлиаза (ЕС 3.2.1.15)

**Амилазы:**

- $\alpha$ -амилаза (ЕС 3.2.1.1) — может участвовать в разложении крахмала.

**Протеазы:**

- Различные протеазы, которые помогают в разложении белков.

**Липазы:**

- Липаза (ЕС 3.1.1.3) — может участвовать в разложении липидов.

Эти ферменты позволяют *Фульводерме табачной* эффективно разлагать сложные органические вещества, что способствует ее роли в экосистеме как разлагателя. Однако стоит отметить, что конкретный набор ферментов может варьироваться в зависимости от условий окружающей среды и доступных субстратов. Благодаря наличию лигиназы, данный вид эффективен на самых первых стадиях разложения древесины.



Вид: *Lycogala epidendrum*

(Ликогала древесная)

Род: *Lycogala, Lamarck*

Семейство: *Tubiferaceae, Schröter, 1886*

Отряд: *Liceales*

Класс: *Мухогастрия, Macbride, 1899*

Отдел: *Мусцетозоа, Siebold, 1845*

Подцарство: *Conosa*

Царство: *Амобеозоа*

Вид слизевика не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Ликогала древесная* организм часто встречается на гниющих древесных остатках и имеет вид небольших шариков розового или коричневатого цвета. К сожалению, для *Lycogala epidendrum* нет подробного и исчерпывающего списка всех ферментов, так как этот вид миксомицетов (слизевиков) изучен недостаточно глубоко на биохимическом уровне.



Вид: *Biscogniauxia nummularia*

(Бисконьяуксия монетовидная)

Род: *Biscogniauxia*, *Locquin*

Семейство: *Xylariaceae*, *Winter, 1884*

Отряд: *Xylariales*

Класс: *Agaricomycetes*, *Doveld, 2001*

Отдел: *Basidiomycota*, *Whittaker ex Moore, 1980*

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы)  
*Hibbett, 2007*

Царство: *Fungi*, *R.T.Moore, 1980*

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Бисконьяуксия монетовидная* гриб известен своей способностью вызывать гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканазы (EC 3.2.1.4)
2. Экзоглюканазы (EC 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (EC 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (EC 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, EC 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, EC 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (EC 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (EC 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (EC 3.2.1.55)
4. Ацетилксиланэстеразы (EC 3.1.1.72)
5. Маннаказы (EC 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (EC 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (EC 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (EC 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (EC 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (EC 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (EC 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (EC 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (EC 3.4.24.-)

**Липазы:**

1. Липазы (EC 3.1.1.3)



Вид: *Antrodia sinuosa*  
(Антродия извилистая)

Род: *Antrodia*, Karsten

Семейство: *Fomitopsidaceae*, Pilát, 1930

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes*, Doved, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex  
Moore, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы)  
*Hibbett*, 2007

Царство: *Fungi*, R.T.Moore, 1980

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Антродия извилистая* гриб известен своей способностью вызывать белую гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
4. Ацетилксилацетеразы (ЕС 3.1.1.72)
5. Манназы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиновые ферменты:**

1. Полигалактуроказы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3):



Вид: *Trametes versicolor*  
(Траметес разноцветный)

Род: *Trametes, Fries*

Семейство: *Polyporaceae, Chaillarde, 1825*

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes, Doved, 2001*

Отдел: *Basidiomycota, Whittaker ex Moore, 1980*

Подцарство: *Dikarya (Высшие грибы) Hibbett, 2007*

Царство: *Fungi, R.T.Moore, 1980*

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Траметес разноцветный* гриб известен своей способностью вызывать белую гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
4. Ацетилксиланэстеразы (ЕС 3.1.1.72)
5. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:** 1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Stereum subtomentosum* (Стереум войлочный)

Род: *Stereum*, Fries

Семейство: *Stereaceae*, Boudier, 1884

Отряд: *Russulales*

Класс: *Agaricomycetes*, Dore, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex Moore, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы) Hibbett, 2007

Царство: *Fungi*, R.T.Moore, 1980

Видом гриба пытались заселить образцы. *Стереум войлочный* гриб известен своей способностью вызывать белую гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилазы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
4. Ацетилксилацетеразы (ЕС 3.1.1.72)
5. Манназы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Scytinostroma galactinum*  
(Сцитинострома молочная)

Род: *Scytinostroma*, Lindau

Семейство: *Lachnocladiaceae*, Reid,  
1965

Отряд: *Russulales*

Класс: *Agaricomycetes*, Dorel, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex  
Moore, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы)  
Hibbett, 2007

Царство: *Fungi*, R.T.Moore, 1980

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции.  
Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
4. Ацетилксиланэстеразы (ЕС 3.1.1.72)
5. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Fibroporia pulvinascens*  
(Фибропория подушечковидная)

Род: *Fibroporia*, *Lisiewska-Kuśtyka*

Семейство: *Fomitopsidaceae*, *Pouzar*,  
1986

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes*, *Doveld*, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, *Whittaker ex*  
*Moore*, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие  
грибы) *Hibbett*, 2007

Царство: *Fungi*, *R.T.Moore*, 1980

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Фибропория подушечковидная* - этот гриб известен своей способностью вызывать белую гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)

**Липазы:**

- липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Schizophyllum commune*  
(Щелелистник обыкновенный)

Род: *Schizophyllum*, Fries

Семейство: *Schizoporaceae*, Jülich,  
1981

Отряд: *Agaricales*

Класс: *Agaricomycetes*, Dövel, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex  
Moore, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы)  
Hibbett, 2007

Царство: *Fungi*, R.T.Moore, 1980

Видом гриба пытались заселить образцы. *Щелелистник обыкновенный* гриб известен своей способностью разлагать древесину и является одним из наиболее изученных видов грибов благодаря своей уникальной биологии и широкому распространению.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)

**Липазы:**

- Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Irpex lacteus*

(Ирпекс молочный)

Род: *Irpex*, *Esenbeck*

Семейство: *Meruliaceae*, *Gäumann, 1926*

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes*, *Doveld, 2001*

Отдел: *Basidiomycota*, *Whittaker ex Moore, 1980*

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы)  
*Hibbett, 2007*

Царство: *Fungi*, *R.T.Moore, 1980*

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Ирпекс молочный* является сапротрофом, разлагающим древесину, и играет важную роль в экосистемах, участвуя в круговороте углерода.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3. Маннаказы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроказы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Hyphodontia radula*  
(Гифодонтия радула)

Род: *Hyphodontia*, Eriksson

Семейство: *Schizoporaceae*, Jülich,  
1981

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes*, Døvel, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex  
Moore, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие  
грибы) Hibbett, 2007

Царство: *Fungi*, R.T.Moore, 1980

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Гифодонтия радула* является сапротрофом, разлагающим древесину, и играет важную роль в экосистемах, участвуя в круговороте углерода.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Ceriporiopsis dichroa*  
 (Церипориопсис двухцветный)  
 Род: *Gloeoporus*, Schröter  
 Семейство: *Irpicaceae*, Larsson., 2010  
 Отряд: *Polyporales*  
 Класс: *Agaricomycetes*, Doveld, 2001  
 Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex  
 Moore, 1980  
 Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы)  
 Hibbett, 2007

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Церипориопсис двухцветный* известен своей способностью вызывать белую гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
  2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
  3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
  4. Ацетилксиланэстеразы (ЕС 3.1.1.72)
- Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:** 1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Ceriporia excelsa*

(Церипория превосходная)

Род: Kotlaba и Pouzar, 1958

Семейство: *Phanerochaetaceae Kotlaba u  
Pouzar, 1958*

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes, Dovel, 2001*

Отдел: *Basidiomycota, Whittaker ex Moore,  
1980*

Подцарство: *Dikarya (Высшие грибы)  
Hibbett, 2007*

Царство: *Fungi, R.T.Moore, 1980*

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Церипория превосходная* является грибом, который образует ферментные комплексы, способствующие разложению органических веществ. Эти ферменты играют ключевую роль в экосистемах, обеспечивая переработку древесины и других растительных остатков.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21):

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
4. Ацетилксилацетеразы (ЕС 3.1.1.72)
5. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Chondrostereum purpureum*

(Хондростереум пурпурный)

Род: *Chondrostereu*, Henning.

Семейство: *Cyphellaceae*, Jülich,  
1981

Отряд: *Polyporales*

Класс: *Agaricomycetes*, Dovel, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, Whittaker ex  
Moore, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие  
грибы) Hibbett, 2007

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. Хондростереум пурпурный гриб известен своей способностью вызывать заболевание растений, называемое "серебристая болезнь". Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

Эндоглюканызы (EC 3.2.1.4)

Экзоглюканызы (EC 3.2.1.91)

$\beta$ -глюкозидазы (EC 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

Лакказы (EC 1.10.3.2)

Марганцевые пероксидазы (MnP, EC 1.11.1.13)

Лигнин-пероксидазы (LiP, EC 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (EC 3.2.1.8)

$\beta$ -ксилозидазы (EC 3.2.1.37)

$\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (EC 3.2.1.55)

Ацетилксиланэстеразы (EC 3.1.1.72)

Маннаказы (EC 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

Полигалактуроназы (EC 3.2.1.15)

Пектинлиазы (EC 4.2.2.10)

Пектинметилэстеразы (EC 3.1.1.11)

**Амилазы:**

$\alpha$ -амилазы (EC 3.2.1.1)

Глюкоамилазы (EC 3.2.1.3)

**Протеазы:**

Сериновые протеазы (EC 3.4.21.-)

Аспартильные протеазы (EC 3.4.23.-)

Металлопротеазы (EC 3.4.24.-)

**Липазы:**

Липазы (EC 3.1.1.3)



Вид: *Xylodon spathulatus*  
(Ксилодон лопаточковидный)

Род: *Xylodon*, *Esenbeck*

Семейство: *Schizoporaceae*, *Jülich*,  
1981

Отряд: *Hymenochaetales*

Класс: *Agaricomycetes*, *Doveld*, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, *Whittaker ex*  
*Moore*, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие  
грибы) *Hibbett*, 2007

Царство: *Fungi*, *R.T.Moore*, 1980

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции.  
Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканазы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканазы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3. Маннаназы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиновые ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**

1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)



Вид: *Basidiobolus meristosporus*

(*Базидиорадулум терковидный*)

Род: *Basidiobolus*, *Esenbeck*

Семейство: *Basidiobalaceae*, *Jülich*, 1981

Отряд: *Entolomatales*

Класс: *Agaricomycetes*, *Doveld*, 2001

Отдел: *Basidiomycota*, *Whittaker ex Moore*, 1980

Подцарство: *Dikarya* (Высшие грибы) *Hibbett*, 2007

Царство: *Fungi*, *R.T.Moore*, 1980

Вид гриба не присутствовал изначально, поселился в процессе деструкции. *Базидиорадулум терковидный* гриб известен своей способностью вызывать белую гниль древесины, что означает, что он эффективно разлагает лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу.

Вот список основных классов гидролитических ферментов этого гриба:

**Целлюлазы:**

1. Эндоглюканызы (ЕС 3.2.1.4)
2. Экзоглюканызы (ЕС 3.2.1.91)
3.  $\beta$ -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21)

**Лигниназы:**

1. Лакказы (ЕС 1.10.3.2)
2. Марганцевые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13)
3. Лигнин-пероксидазы (LiP, ЕС 1.11.1.14)

**Гемицеллюлазы:**

1. Эндо-1,4- $\beta$ -ксилаказы (ЕС 3.2.1.8)
2.  $\beta$ -ксилозидазы (ЕС 3.2.1.37)
3.  $\alpha$ -L-арабинофуранозидазы (ЕС 3.2.1.55)
4. Ацетилксиланэстеразы (ЕС 3.1.1.72)
5. Маннанызы (ЕС 3.2.1.78)

**Пектиназные ферменты:**

1. Полигалактуроназы (ЕС 3.2.1.15)
2. Пектинлиазы (ЕС 4.2.2.10)
3. Пектинметилэстеразы (ЕС 3.1.1.11)

**Амилазы:**

1.  $\alpha$ -амилазы (ЕС 3.2.1.1)
2. Глюкоамилазы (ЕС 3.2.1.3)

**Протеазы:**



1. Сериновые протеазы (ЕС 3.4.21.-)
2. Аспартильные протеазы (ЕС 3.4.23.-)
3. Металлопротеазы (ЕС 3.4.24.-)

**Липазы:**

1. Липазы (ЕС 3.1.1.3)

## Приложение 4





Таблица 3. Изменение окраски, массы и появление грибов-деструкторов на грабе обыкновенном 2022-2024 г - контроль

Характери- зующий признак	Май 2022	Июль 2022	Сентябрь 2022	Ноябрь 2022	Май 2023	Июнь 2023	Июль 2023	Сентябрь 2023	Январь 2024	Март 2024	Май 2024
Окраска		Без изменений	Без изменений		Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений
Масса	194 г -303 г - 257 г	194 г- 303г - 257 г	198 г - 303 г - 257 г	196 г -303г - 256 г	198- 304- 258г	196- 304-257 г	196- 303-257 г	200-304- 260 г	202-303- 261 г	202- 304- 260 г	200-303- 261 г
Грибы- деструкторы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Примечание:* образцы находились в сухом, хорошо вентилируемом помещении. Влияние внешней среды – температуры, влажности, биотических факторов минимально. Цвет, текстура дерева, его структура за два года эксперимента практически не изменились.

## Приложение 5





Таблица 4. Изменение окраски, массы и появление грибов-деструкторов на грабе обыкновенном 2022-2024 г – эксперимент 2

Характери- зующий признак	Май 2022	Июль 2022	Сентябрь 2022	Ноябрь 2022	Май 2023	Июнь 2023	Июль 2023	Сентябрь 2023	Январь 2024	Март 2024	Май 2024
Окраска			Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности		Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	
Масса	361 г -234 г -233 г	305 г-226 г -223 г	277 г – 198 г- 212 г	224 г - 192 г - 200 г	240 г- 200 г - 208 г	242 г- 215 г- 210 г-	252 г- 223 г- 216 г-	270 г- 240 г- 228 г-	278 г- 262 г- 245 г	284 г- 270 г- 251 г	287 г- 274 г- 253 г
Грибы- деструкторы	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*Примечание:* через 4 месяца после начала эксперимента на одном из образцов появились дереворазрушающие грибы, вызывающие на поверхности белую гниль, сам вид определить не смогли, так как на поверхности не было плодового тела. Данная стадия разрушения 1, носит название «темнина». В сентябре 2023 года появился новый вид *Глеопорус войлочно-опоясанный*. Этот вид характерен 3 стадии гниения, хотя по другим признакам стадия была еще вторая. Через пару месяцев его вытеснил вид *Бисконъезия монетная*. Затем добавился *Траметес разноцветный*. На мая 2024 года образцы находятся на второй стадии гниения. Заселения образцов *Стереумом войлочковым* не произошло.






## Приложение 6

Таблица 5. Изменение окраски, массы и появление грибов-деструкторов на грабе обыкновенном 2022-2024 г – эксперимент 3

Характери- зующий признак	Май 2022	Июль 2022	Сентябрь 2022	Ноябрь 2022	Май 2023	Июнь 2023	Июль 2023	Сентябрь 2023	Январь 2024	Март 2024	Май 2024
Окраска		Без изменений		Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности			Без изменений		3-я стадия гниения, цвет определить сложно
Масса	194 г - 320 г - 296 г	189 г- 311 г - 292 г	177 г -297 г -269 г	163 г -275 г -255 г	171 г-280 г - 260 г	175г - 282г - 263 г	193г - 285г - 268 г	204г -296г -269г	220 г- 311 г- 299 г	210 г – 310 г- 254 г	200 г – 305 г – 253 г
Грибы- деструкторы	-	-	-	Щелелистник обыкновенный	+	+	+	+	+	Ирпекс молочно- белый	+




## Приложение 7

Таблица 6. Изменение окраски, массы граба обыкновенного с гименохетой табачной 2022-2024 г – эксперимент 8

Характеризуемый признак	Май 2022	Июль 2022	Сентябрь 2022	Ноябрь 2022	Май 2023	Июнь 2023	Июль 2023	Сентябрь 2023	Январь 2024	Март 2024	Май 2024
Окраска		Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности, появление белой гнили	Появление второго вида гриба деструктора		Без изменений		Без изменений		
Масса	168 г -214 г -165 г	148 г-198 г -131 г	131 г -197 г -111 г	112г -174г -102 г	122 г-178г -106 г	145 г-187г –126 г	145 г-187г -126 г	112 г-120 г-106 г	71 г-102 г-58 г	73 г -105 г – 50 г	70 г – 87 г – 43 г
Грибы-деструкторы	Гименохете табачно-бурый	+	+	+	Антродия подушкообразная	+	Неопред-й вид			Хондросте-реум пурпурный	

## Приложение 8

Таблица 7. Изменение окраски, массы дуба черешчатого  
2022-2024 г – эксперимент 5





Характери- зуемый признак	Май 2022	Июль 2022	Сентябрь 2022	Ноябрь 2022	Май 2023	Июнь 2023	Июль 2023	Сентябрь 2023	Январь 2024	Март 2024	Май 2024
Окрас		Без изменений	Без изменений	Без изменений	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности		Без изменений	Без изменений	Без изменений	
Масса	219 г- 294 г- 245 г	217 г- 288 г- 231 г	211 г- 276 г- 222 г	207 г- 268 г- 204 г	198 г- 265 г- 188 г	194 г- 262 г- 163 г	186 г- 259 г- 165 г	126 г- 202 г - 150 г	142 г- 218 г – 172 г	140 г- 215 г – 169 г	145 г-225 г – 175 г
Грибы- деструкто- ры	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+

*Примечание:* согласно проведенному эксперименту, дуб черешчатый менее подвержен гниению. За два года в эксперименте мы достигли только второй стадии гниения. Виды грибов деструкторов – *Гифодонтия лопатчатая*, *Базидиорадулум рашипилевидный*.



## Приложение 10

Таблица 9. Изменение окраски, массы и появление грибов-деструкторов на дубе черешчатого 2022-2024 г с изначально заселенными образцами – эксперимент 7

Характеризуемый признак	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь	Май	Июнь	Июль	Сентябрь	Январь
Окраска		Потемнение поверхности	Потемнение поверхности	Потемнение поверхности, появление второго вида грибов-деструкторов	Потемнение поверхности		Потемнение поверхности		
Масса	223 г- 290 г- 205 г	220 г- 288 г- 201 г	221 г- 285г- 198 г	215 г- 271 г- 190 г	218 г- 280 г- 193 г	-	-	-	-
Грибы-деструкторы	+	+	+	+	+	+	+	+	+

*Примечание:* единственный эксперимент в ходе которого образцы исследования подверглись полной деструкции – стадия гниения «дупло», характеризуемое полным разложением древесины – гумификация, минерализация. В ходе этого эксперимента на образцах чаще всего сменялись и появлялись новые виды грибов деструкторов – из определенных: *Губка дубовая*, *Гименохете табачно-бурый*, *Церипория высокая*, *Стереум нежноволокочковый*, *Сцитинострома молочно-белая*.

## Приложение 11



Рис. 6 2-я стадия гнили «Твердая»



Рис. 7 3-я стадия гнили «Мягкая»

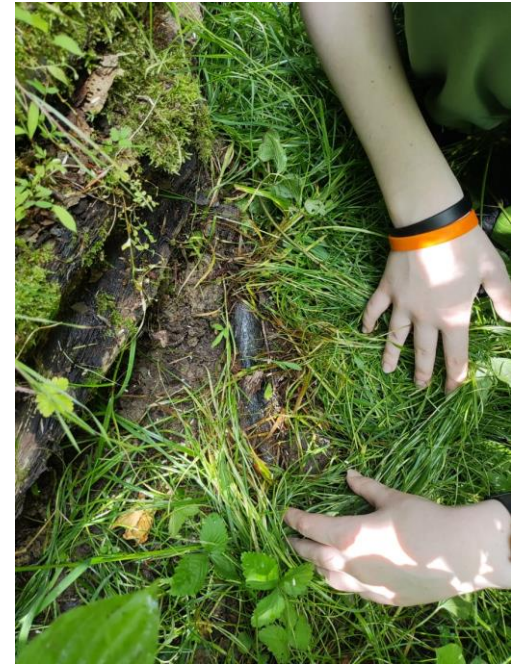


Рис. 8 4-я стадия гнили «Дупло»

## Приложение 12

Таблица 10. Систематический список грибов-деструкторов

Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Agaricales, Persoon в начале XIX века</i>	<i>Cyphellaceae, Jülich, 1981</i>	<i>Chondrostereum, Hennings в 1900</i>	<i>Chondrostereum purpureum, Schröter дал это название в 1921</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Polyporales, Gäumann, 1926</i>	<i>Phanerochaetaceae Kotlaba u Pouzar, 1958</i>	<i>Ceriporiopsis, Kotlaba u Pouzar, 1958</i>	<i>Ceriporiopsis excelsa, Э. М. А. Ф. Бенедиктом и Д. Дж. Л. Хатчингсом в 1980</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Polyporales, Gäumann, 1926</i>	<i>Phanerochaetaceae Kotlaba u Pouzar, 1958</i>	<i>Ceriporiopsis, Kotlaba u Pouzar, 1958</i>	<i>Ceriporiopsis dichroa, Kotlaba u Pouzar, 1958</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Russulales, Gäumann, 1926</i>	<i>Auriscalpiaceae, Jülich, 1981</i>	<i>Artomyces, Petersen, 1982</i>	<i>Artomyces pyxidatus, Petersen, 1980-e</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Hymenochaetales, Jülich, 1981</i>	<i>Schizoporaceae, Jülich, 1981</i>	<i>Xylodon, Esenbeck, 1816</i>	<i>Xylodon spathulatus, Scheidig, 1838</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Hymenochaetales, Jülich, 1981</i>	<i>Hymenochaetaceae, Gäumann, 1926</i>	<i>Fulvoderma, Kotlaba u Pouzar, 1984</i>	<i>Fulvoderma tabacinum, Kotlaba u Pouzar, 1984</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Polyporales, Gäumann, 1926</i>	<i>Meruliaceae, Gäumann, 1926</i>	<i>Irpex, Esenbeck, 1816</i>	<i>Irpex lacteus, Linnaeus, 1753</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Agaricales, Persoon в начале XIX века</i>	<i>Schizoporaceae, Jülich, 1981</i>	<i>Schizophyllum, Fries, 1821</i>	<i>Schizophyllum commune, Fries, 1815</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Polyporales, Gäumann, 1926</i>	<i>Fomitopsidaceae, Pouzar, 1986</i>	<i>Fibroporia, Lisiewska-Kuśtyka, 1975</i>	<i>Fibroporia pulvinascens, Hallenberg, 1983</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Hymenochaetales, Jülich, 1981</i>	<i>Schizoporaceae, Jülich, 1981</i>	<i>Hyphodontia, Eriksson, 1958</i>	<i>Hyphodontia radula, Fries, 1821</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Russulales, Gilbertson u Reid, 1985</i>	<i>Lachnocladiaceae, Reid, 1965</i>	<i>Scytinostroma, Lindau, 1908</i>	<i>Scytinostroma galactinum, Boidin, 1961</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Russulales, Gilbertson u Reid, 1985</i>	<i>Stereaceae, Boudier, 1884</i>	<i>Stereum, Fries, 1815</i>	<i>Stereum subtomentosum, Fries, 1828</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Polyporales, Gäumann, 1926</i>	<i>Polyporaceae, Chaillarde, 1825</i>	<i>Trametes, Fries, 1835</i>	<i>Trametes versicolor, Linnaeus, 1753</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Polyporales, Gäumann, 1926</i>	<i>Fomitopsidaceae, Pilát, 1930</i>	<i>Antrodia, Karsten, 1879</i>	<i>Antrodia sinuosa, Karsten, 1881</i>
<i>Agaricomycetes, Doveld, 2001</i>	<i>Xylariales, Winter, 1884</i>	<i>Xylariaceae, Winter, 1884</i>	<i>Biscogniauxia, Locquin, 1984</i>	<i>Biscogniauxia nummularia, Hawksworth u Seaward, 1981</i>
<i>Myxomycetes, Link, 1833</i>	<i>Liceales, Schröter, 1886</i>	<i>Tubiferaceae, Schröter, 1886</i>	<i>Lycogala, Lamarck, 1793</i>	<i>Lycogala epidendrum, Linnaeus, 1753</i>

## Приложение 13

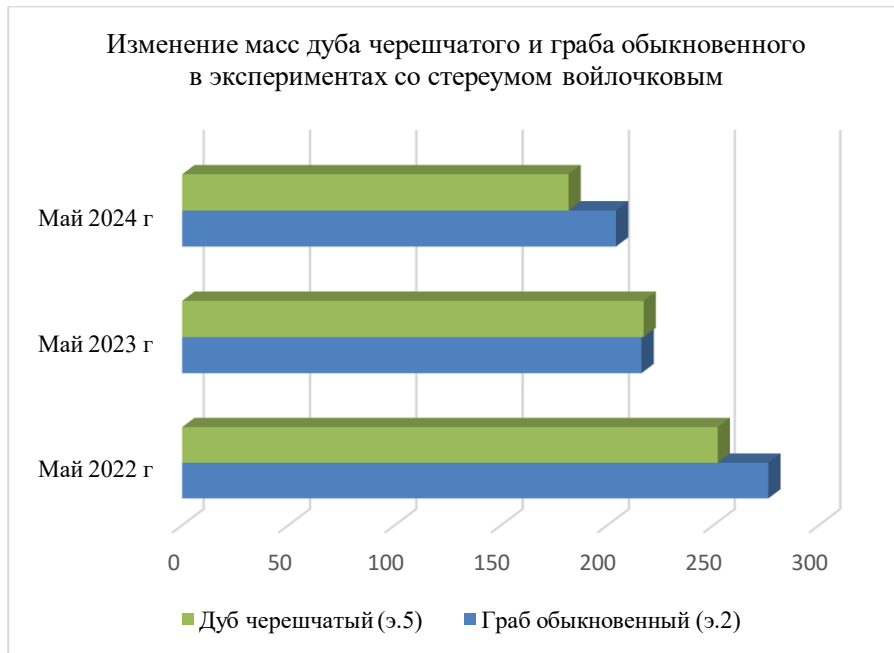


Рис. 9 Сравнение результатов экспериментов 2 и 5

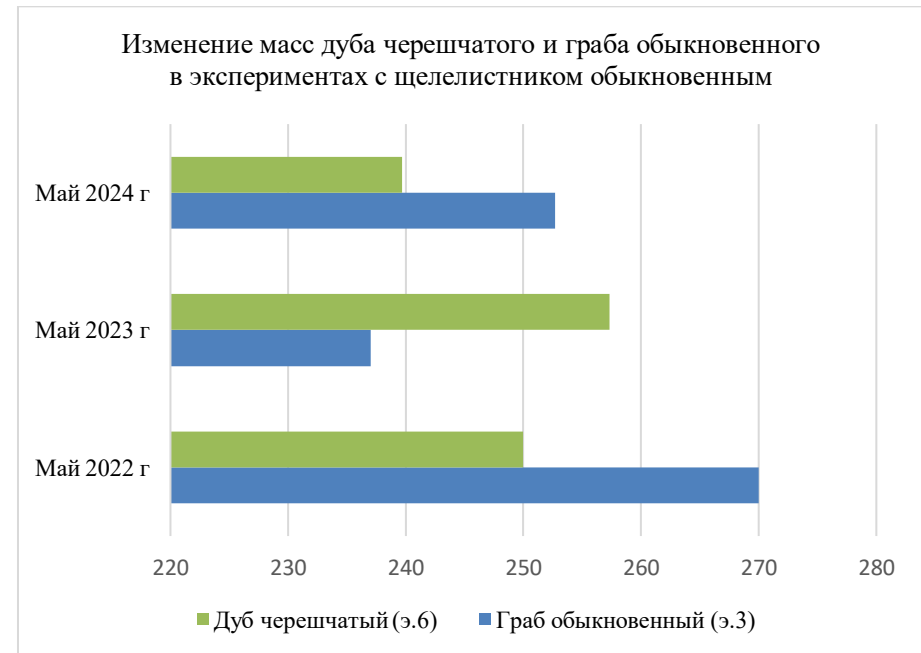


Рис. 10 Сравнение результатов экспериментов 3 и 6

## Приложение 14

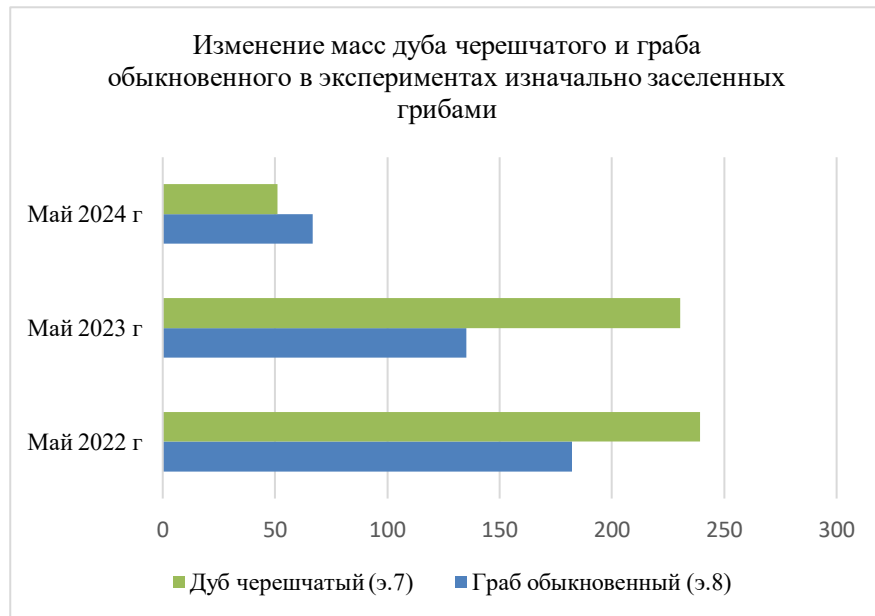


Рис. 11 Сравнение результатов экспериментов 7 и 8

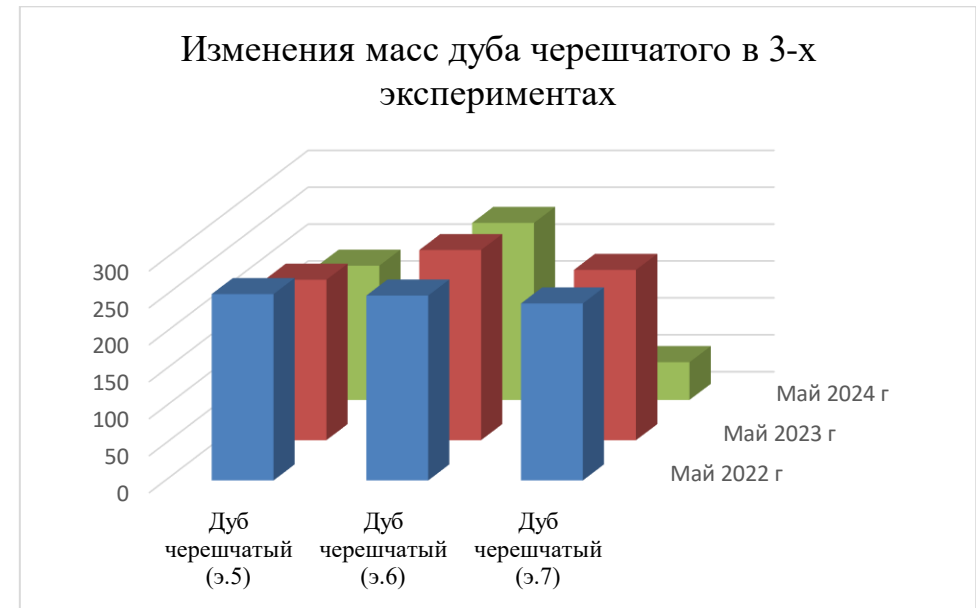


Рис. 12 Сравнение результатов дуба черешчатого за 2 года

## Приложение 15

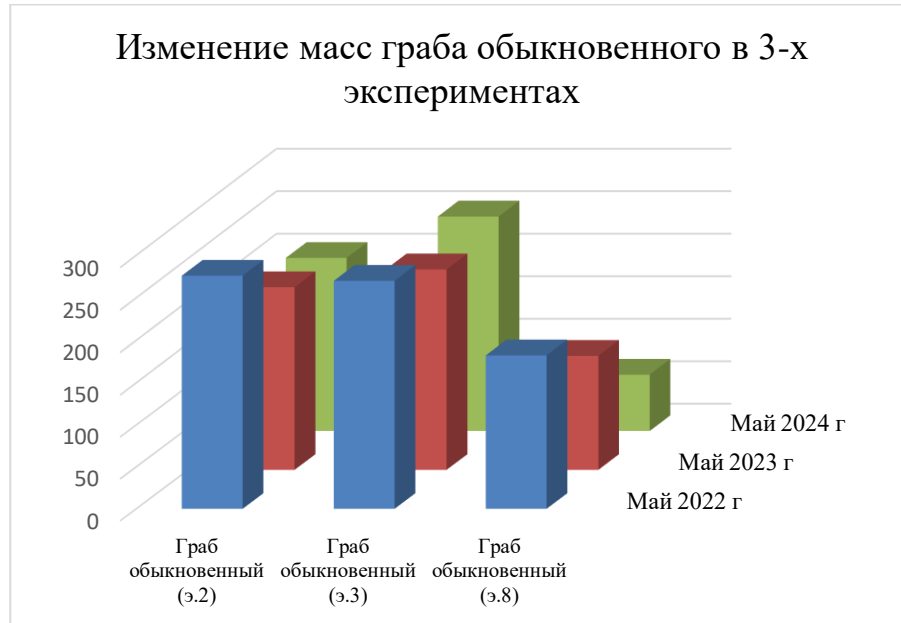


Рис. 13 Сравнение результатов граба обыкновенного за 2 года

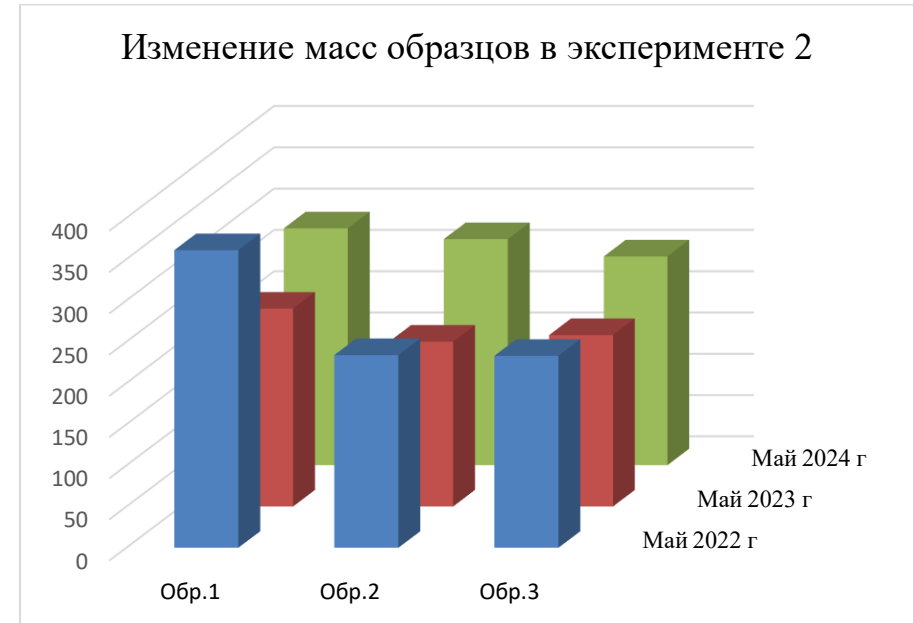


Рис. 14 Изменение масс в эксперименте с грабом

обыкновенным и *стереумом войлочковым*

