

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
„Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова“
Биологический факультет
Кафедра микологии и альгологии

Курсовая работа
по теме

Влияние условий космоса на грибы внутри и вне космического аппарата

Выполнил:

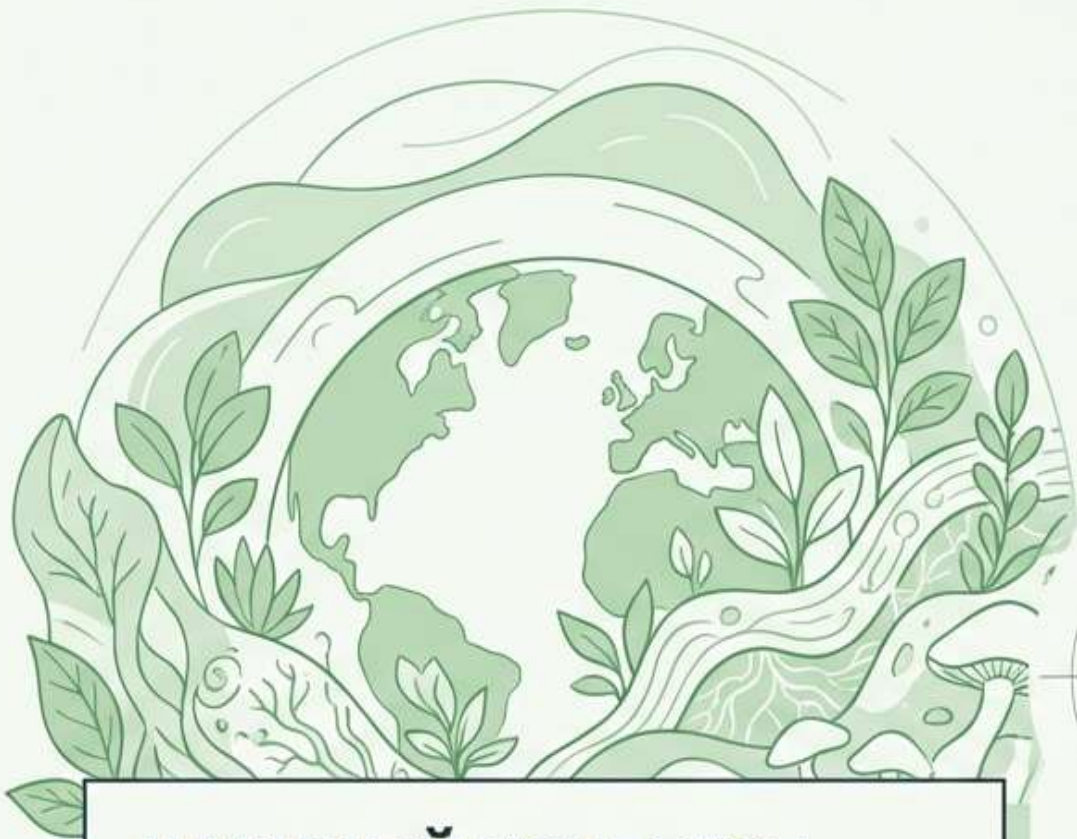
Лобачев Александр Сергеевич
студент 3 курса специалитета,
кафедры микологии и альгологии

Научный руководитель:

Кураков Александр Васильевич
доктор биологических наук,
заведующий кафедрой
микологии и альгологии

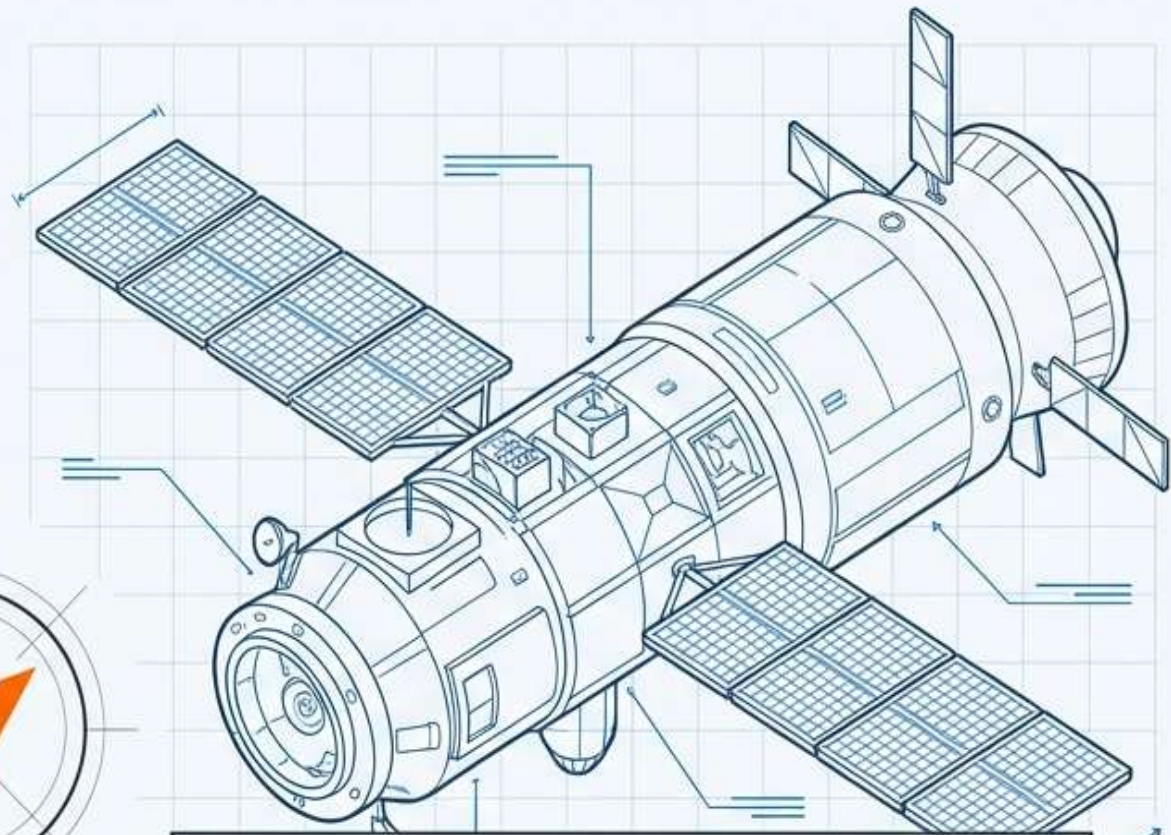
Москва

2026



НАУЧНЫЙ КОНТЕКСТ

В Космосе условия кардинально отличны от земных. Изучение влияния факторов космического пространства на живые организмы, и грибы в частности, имеет важное научное значение, так как многие эффекты их воздействия до сих пор не известны.



ПРАКТИЧЕСКАЯ УГРОЗА

Необходимо точно знать, могут ли грибы нести угрозу при длительных полетах. Многие грибы выступают как биодеструкторы различных материалов, а среди них есть опасные аллергенные и патогенные виды.

Цель: Обобщить и систематизировать данные о воздействии основных факторов космического пространства на грибы.

01

Охарактеризовать факторы космического пространства, значимые для биологических объектов

02

Дать обзор методов, используемых для изучения влияния факторов космического пространства на грибы

03

Привести данные о модификациях свойств грибов, подвергшихся воздействию космических факторов внутри и вне космического аппарата, а также в лабораторных условиях на Земле и механизмах их адаптации.

04

Выяснить есть ли сведения о потенциальных рисках для длительных космических миссий связанные с грибами (к примеру, их биодеструктивная активность к материалам и изменение патогенных свойств).

Факторы космического пространства

Открытый космос

Вакуум: 10^{-7} Па
(Дегидратация, дегазация).

Полный спектр УФ: VUV
(10–200 нм), EUV, UV-C.

Ионизирующее излучение:
Галактические и солнечные космические лучи (КЛ),
плотноионизирующие тяжелые ионы (высокий LET).

Температурный шок:
Колебания от -25°C до $+87.5^{\circ}\text{C}$.

Гипомагнитная обстановка

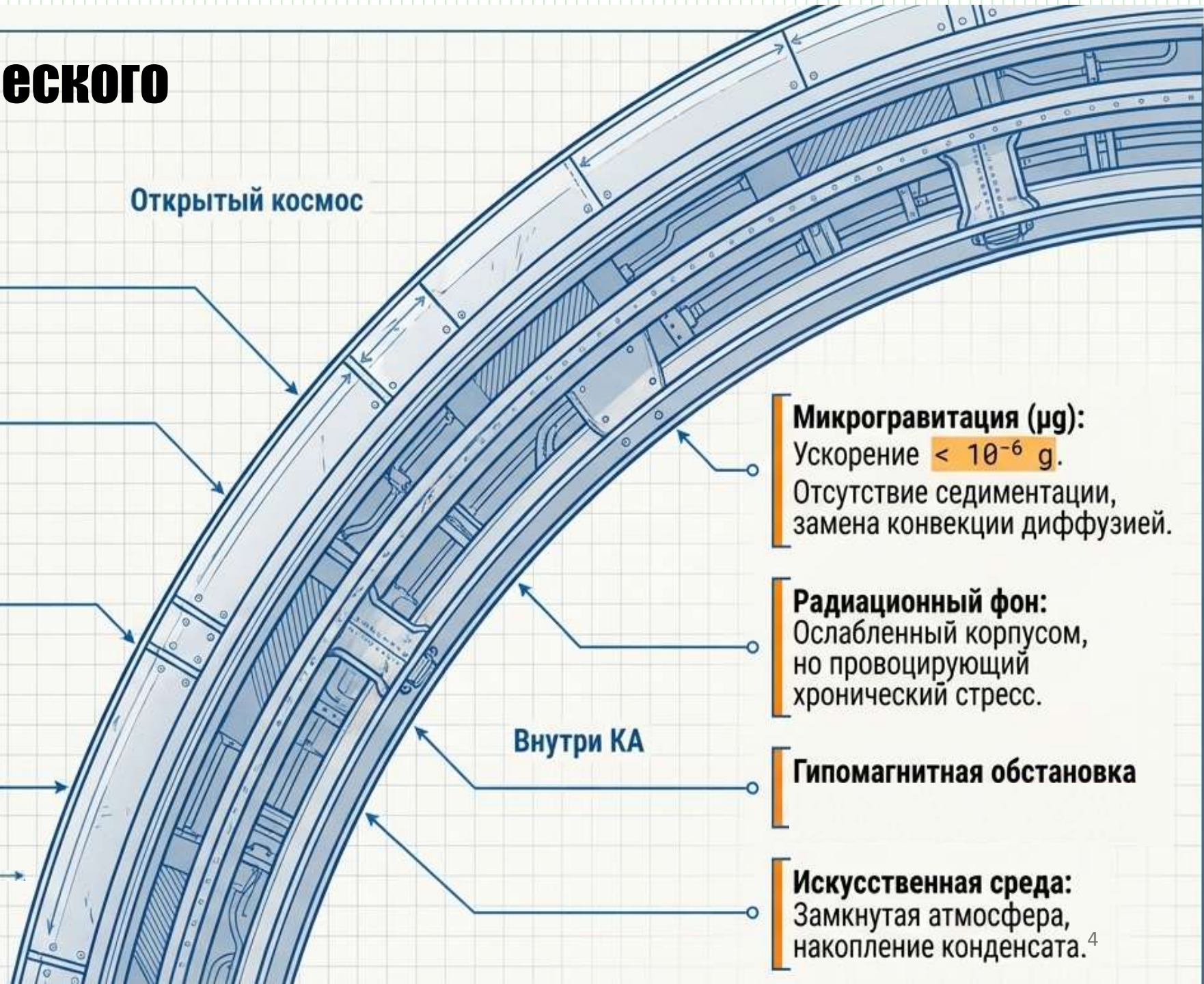
Микрогравитация (μg):
Ускорение $< 10^{-6}$ g.
Отсутствие седиментации,
замена конвекции диффузией.

Радиационный фон:
Ослабленный корпусом,
но провоцирующий
хронический стресс.

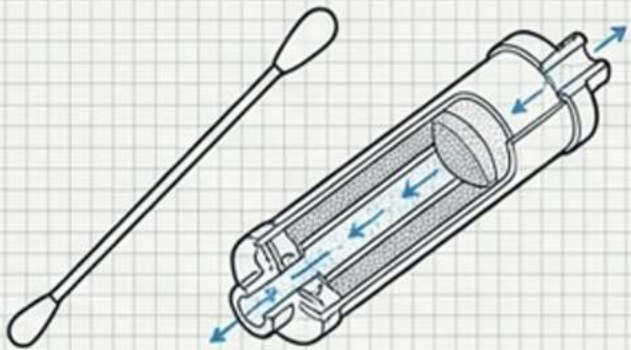
Гипомагнитная обстановка

Искусственная среда:
Замкнутая атмосфера,
накопление конденсата.⁴

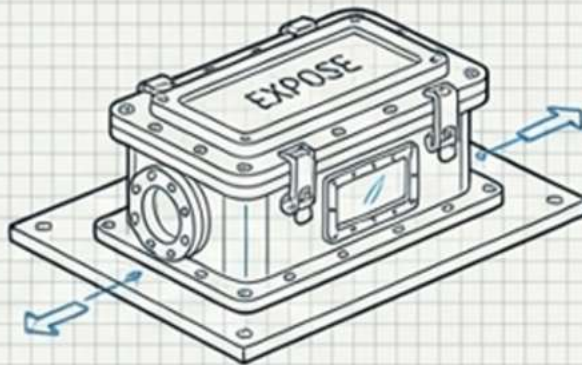
Внутри КА



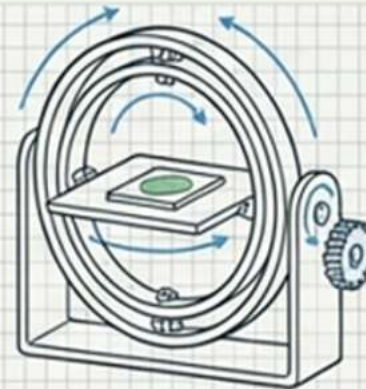
Методы, применяемые в исследованиях



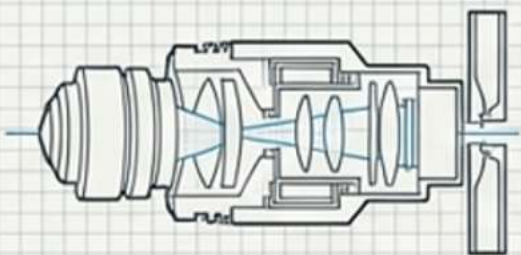
– отбор проб с поверхностей, фильтров, систем рекуперации воды;



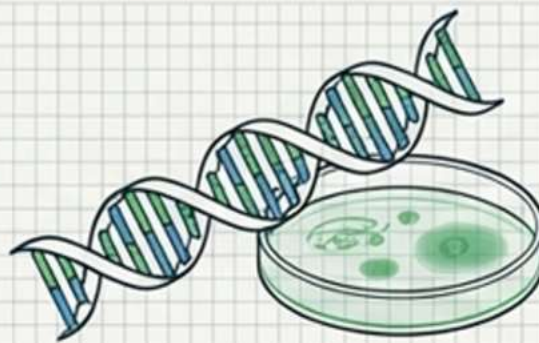
– экспозицию образцов в открытом космосе в специальных контейнерах;



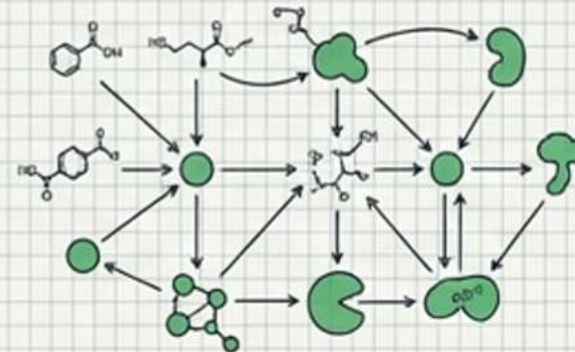
– моделирование воздействий космических факторов с помощью разных устройств;



– микрофотографирование (световая, электронная, атомно-силовая) проб и культур грибов:



– определение разнообразия грибов на космических аппаратах культуральными и молекулярно-генетическими методами;



– протеомный и метаболомный анализы грибных культур.

Изменения свойств грибов



В космосе

- **Сохранение жизнеспособности спор (до 2,5 лет и более)**
 - Эксперимент «Биориск-МСН», контейнер из нержавеющей стали (961 сутки): споры *Aspergillus piperis* и *Alternaria alternata* показали выживаемость >60%; у *A. alternata* прорастание в 8 раз выше, чем в контроле на Земле (Kharin et al., 2026).
 - На платформе EXPOSE-R (682 дня) споры *Trichoderma longibrachiatum* сохраняли около 30% жизнеспособности в вакууме без освещения (Neuberger et al., 2015).
 - 45-суточная экспозиция спор на «Фотон-М4»: *Aspergillus versicolor* – выживаемость 69% от контроля (Ponizovskaya et al., 2017).
- **Дегидратация как консервирующий фактор**
 - Вакуум вызывает глубокую дегидратацию, которая может законсервировать клетки; у *A. ochraceus* доля поврежденных клеток спор в космических образцах оказалась ниже, чем в земном контроле (Kharin et al., 2026).
- **Наследуемая радио- и хеморезистентность**
 - После двухлетней экспозиции у *Aureobasidium pullulans* 30% субкультур отмечена повышенная устойчивость к γ -излучению (10–15 кГр) и химическим стрессорам (Deshevaya et al., 2024).
- **Ключевая роль меланина и видовой специфичности**
 - Антарктический *Cryomyces antarcticus* (Высушенные вегетативные клетки) сохранял целостность мембран (80% клеток) после 1,5 лет в открытом космосе, тогда как близкий *C. minteri* погиб почти полностью (Onofri et al., 2018).
 - Меланизированные виды в целом устойчивее, но решающее значение имеет видовая принадлежность (пигментированный *A. niger* выжил лишь на 19% в эксперименте на «Фотоне»).

В космических аппаратах

- **Усиление продукции антиоксидантов**

- У *Aspergillus niger* JSC-093350089 продукция антиоксиданта пиранонигрина А была выше на **6000%** (в 60 раз) по сравнению с лабораторным штаммом (Romsdahl et al., 2020).

- **Изменение профиля вторичных метаболитов и наследуемые мутации**

- У того же штамма *A. niger* после полета выявлено **375 SNPs** и **620 INDELS**, кластеризованных в хромосомах VIII и XII; стабильное наследование повышенной продукции пиранонигрина А (Romsdahl et al., 2020).
- Метаболический сдвиг: снижение ниграгиллина, повышение аурасферонов и бикуманигрин А.

- **Стимуляция субстратного роста мицелия**

- У *Ulocladium chartarum* в условиях микрогравитации происходил активный рост погруженного мицелия с образованием микроколоний в глубине среды, что повышает риск биодеструкции материалов (Gomoiu et al., 2013).

- **Агрегация клеток и формирование биоплёнок**

- У *Candida albicans* усиление клеточной агрегации в **2,8 раза**, хаотичное почкование, что способствует образованию биоплёнок на поверхностях (Crabbé et al., 2013).

В

Микрогравитация

- У *Aspergillus niger* – формирование множественных ростовых трубок при прорастании (Sathishkumar et al., 2014). Утолщение вегетативного мицелия в 1,5–2 раза (Cortese et al., 2022).
- У *Fusarium solani* – увеличение скорости роста и споруляции (D'Agostino et al., 2022).
- У *Aspergillus carbonarius* накопление охратоксина А и органических кислот внутри клеток при снижении экскреции; изменение липидного состава мембран (Jiang et al., 2019).
- В сообществе, разлагающем солому, подавление конвекции привело к фрагментации молекулярных сетей и накоплению антимикробных соединений (Liao et al., 2025).

УФ-излучение

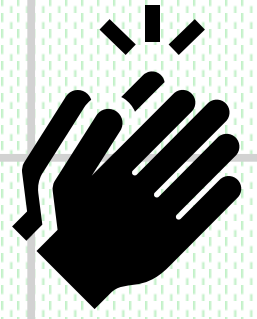
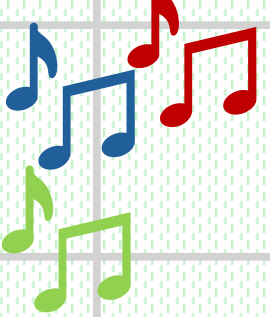
- У *Aspergillus fumigatus* делеция гена меланина *pksP* повышала чувствительность к УФ-С у одних штаммов, но не влияла на устойчивость штамма, изолированного с МКС; протекторными свойствами обладал также метаболит фумиквиназолин С (Blachowicz et al., 2020).

Ионизирующее излучение

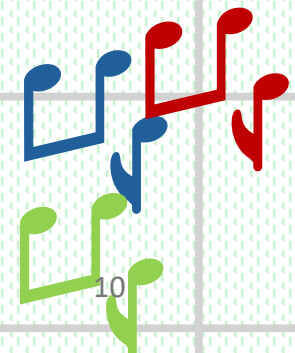
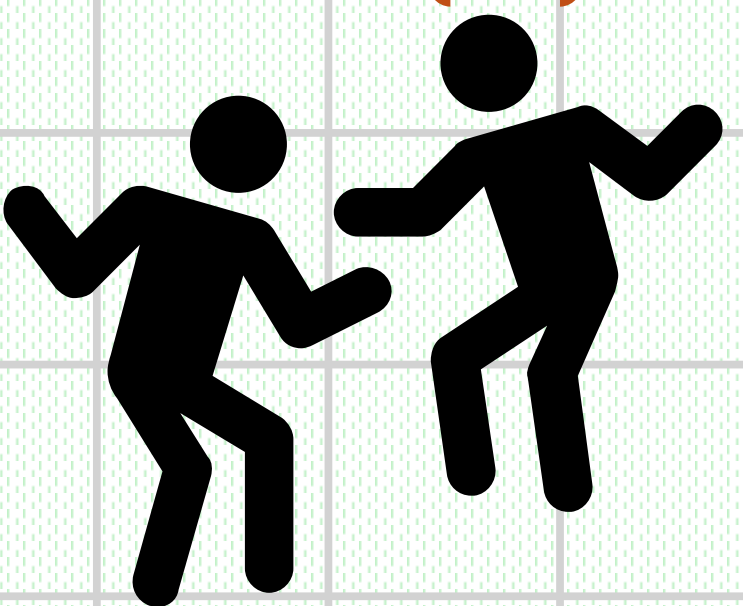
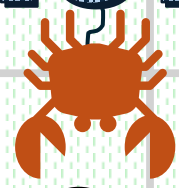
- *Cryomyces antarcticus* (сухие споры) выдерживал дозы γ -излучения до **55,8 кГр** и ионов гелия 1 кГр без видимых повреждений ДНК (Pacelli et al., 2017).
- Меланин в клеточной стенке поглощает ионизирующее излучение (комптоновское рассеяние) и после облучения в 4 раза эффективнее переносит электроны, стимулируя рост меланизированных грибов – гипотеза «радиотрофности» (Dadachova et al., 2007; Dadachova & Casadevall, 2008).

Гипомагнитные условия

- При экранировании геомагнитного поля (≤ 45 нТл) у *Penicillium rugulosum* полностью утрачивалась антагонистическая активность по отношению к бактериям, хотя рост и споруляция не менялись (Rodimin et al., 2025).



Потенциальные риски



Биоповреждающая активность

Традиционный визуальный контроль недостаточен: грибы способны развиваться внутри материалов, не проявляя себя внешне, что ведет к внезапному выходу оборудования из строя.

•Разрушение полимеров

– Грибы, изолированные со станций «Мир» и МКС (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* и др.), в лабораторных условиях активно прорастали сквозь полиэтилентерефталатную ткань с последующим разрывом волокон (Alekhova et al., 2005).

•Коррозия металлов

– Те же изоляты вызывали локальную точечную коррозию алюминий-магниевого сплава АМГ-6; степень повреждения нарастала со временем экспозиции (Alekhova et al., 2005).

•Повышенный риск при микрогравитации

– У *Ulocladium chartarum* в условиях космического полета стимулировался рост субстратного мицелия, который проникал в глубину питательной среды и образовывал микроколонии, что может имитировать колонизацию микротрещин и скрытых полостей материалов (Gomoiu et al., 2013).



Повышение устойчивости грибов к антибиотикам

И, потенциально, к дезинфектантам...

Устойчивость к антибиотикам:

В рамках проекта Microbial Tracking-2 в микробном сообществе МКС были обнаружены гены антибиотикорезистентности. Хотя исследование включало анализ как бактерий, так и грибов, авторы не делают выводов о том, какие именно микроорганизмы являются носителями этих генов. Это создаёт потенциальный риск, требующий дальнейшего изучения (Urbaniak et al., 2022).

Дополнительно:

У *Aspergillus niger* JSC-093350089 после полета наблюдалась повышенная продукция пиранонигрина А – антиоксиданта, который может опосредованно влиять на устойчивость к окислительным компонентам дезинфектантов (Romsdahl et al., 2020).

Усиление вирулентности грибов

Условия космического полета могут отобрать штаммы с повышенным патогенным потенциалом, что требует включения тестов на вирулентность в систему микробиологического контроля.

Экспериментальные доказательства:

- Штаммы *Aspergillus fumigatus*, изолированные с поверхностей МКС (ISSFT-021, IF1SW-F4), показали **повышенную вирулентность в модели на личинках данио** (Knox et al., 2016).
- Протеомный анализ этих штаммов выявил значительное увеличение уровня белка Arp1 (скиталондегидратазы) – ключевого фермента синтеза ДГН-меланина, что связывают с повышенной устойчивостью к фагоцитозу (Blachowicz et al., 2019). (однако авторы не исключают, что такие различия могут быть в пределах естественной вариабельности вида)

Сопутствующие факторы вирулентности:

- У *Candida albicans* в условиях космического полета усиление клеточной агрегации (в 2,8 раза) и хаотичное почкование способствуют формированию биопленок, которые могут защищать клетки от иммунной системы и антимикотиков (Crabbé et al., 2013).
- Изменение профиля вторичных метаболитов (например, у *A. niger* с МКС) может влиять на токсигенность и способность к колонизации тканей (Romsdahl et al., 2020).

Изменение антибиотической активности в гипомагнитных условиях

Гипомагнитная обстановка (характерная как для космического аппарата, так и для Луны) может нарушать экологические взаимодействия между грибами и бактериями. Утрата антагонистической активности способна приводить к неконтролируемому росту сопутствующей микрофлоры, изменяя микроэкологию замкнутых систем и повышая риски инфекций.

Эксперимент в сверхслабом магнитном поле (≤ 45 нТл):

- У *Penicillium rugulosum*, изолированного с МКС, при культивировании в гипомагнитных условиях полностью утрачивалась антагонистическая активность по отношению к тестовым бактериальным культурам (Rodimin et al., 2025).
- При этом рост колоний на питательной среде и споруляция не изменялись, то есть эффект носил специфический функциональный характер.

1. Факторы космического пространства, значимые для грибов, включают: ионизирующие излучения (корпускулярные – галактические и солнечные космические лучи; электромагнитные – рентгеновское, гамма-излучение, коротковолновый вакуумный УФ), неионизирующее ультрафиолетовое излучение, микрогравитацию, вакуум, перепады температур и гипомагнитную обстановку. Внутри космического аппарата устраняются или снижается воздействие вакуума, солнечного УФ и ионизирующих излучений, сохраняются микрогравитация, гипомагнитные условия и специфическая замкнутая среда с иным световым режимом.

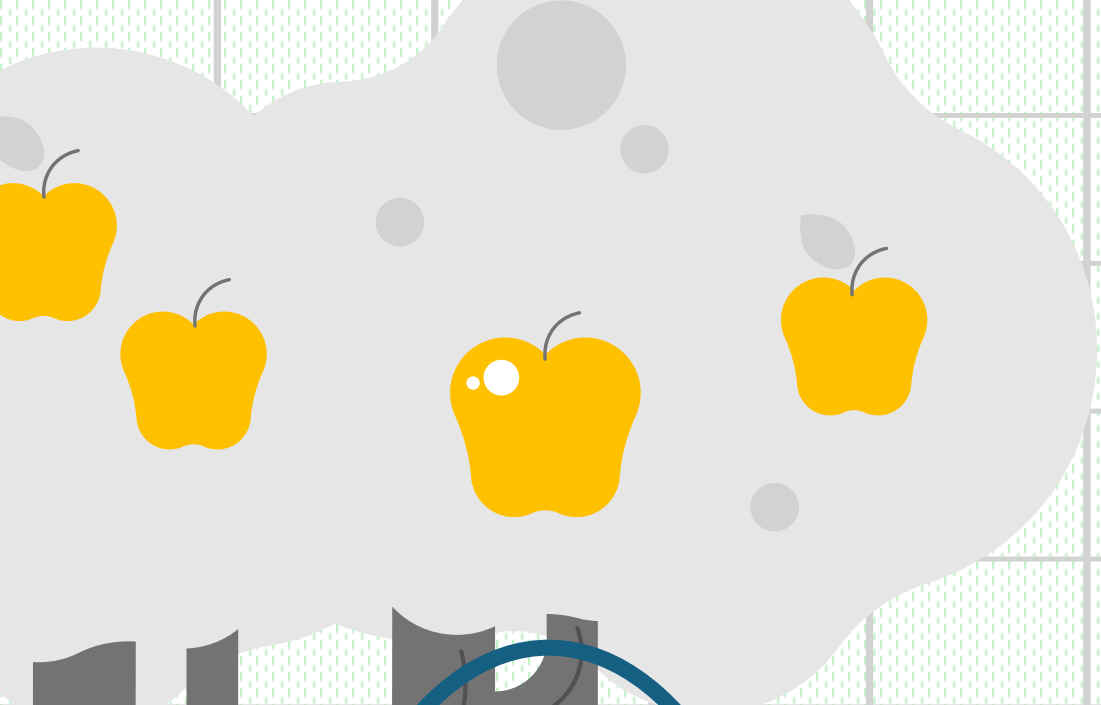
2. Для изучения воздействия на грибы факторов космического пространства проводят: – отбор проб с поверхностей, фильтров, систем рекуперации воды; – микроскопирование (световая, электронная, атомно-силовая) проб и культур грибов: – экспозицию образцов в открытом космосе в специальных контейнерах; – моделирование воздействий космических факторов с помощью разных устройств; – определение разнообразия грибов на космических аппаратах культуральными и молекулярно-генетическими методами); – протеомный и метаболомный анализы грибных культур.

3. Воздействие факторов космического пространства может приводить к следующим модификациям у грибов:

- внутри космического аппарата – усилением продукции меланина и антиоксидантов, изменению профиля вторичных метаболитов, появлением наследуемых мутаций, стимуляции субстратного роста мицелия, агрегации клеток дрожжеподобных грибов, формированию биоплёнок;
- в открытом космосе – сохраняется жизнеспособность спор, преимущественно меланизированных видов (до 2,5 лет и более в контейнерах, где резко снижается воздействие космического облучения); происходит их дегидратация; возникает наследуемая радио- и хеморезистентность у выживших культур;
- в моделируемых условиях – микрогравитация не летальна, но вызывает морфологические перестройки (утолщение гиф, множественные ростовые трубки), меняется метаболизм (накопление охратоксина А, органических кислот); высокие дозы ионизирующего излучения выдерживают меланизированные грибы; гипомагнитные условия могут модулировать антагонистическую активность у некоторых видов.

4. Существуют следующие потенциальные риски для космических миссий, связанные с грибами:

- биоповреждающая активность грибов по отношению к конструкционным материалам (полимерам, коррозия металлов);**
- повышение устойчивости грибов к дезинфицирующим средствам и антибиотикам;**
- усиление вирулентности;**
- изменение антибиотической активности в гипомагнитных условиях.**



**Благодарю за
внимание!**

