

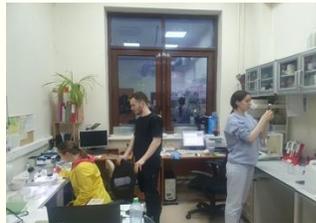
Биотическая концепция экологического контроля: реализация в образовательных программах, научных проектах и решении практических задач

(д.б.н., профессор Терехова Вера Александровна)

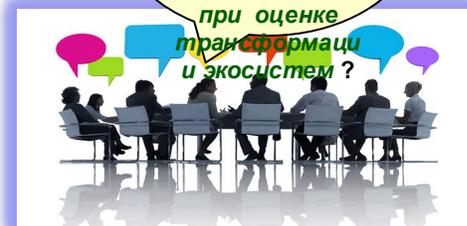


Методы биодиагностики приоритетны при оценке здоровья экосистем и определении класса опасности отходов. Образовательные дисциплины кафедры предоставляют возможность освоить фундаментальные основы методологии биодиагностики и получить практические навыки .

В современной лаборатории студенты и аспиранты выполняют свои дипломные и диссертационные работы, участвуют в научных проектах и хоздого - ворах.



Каковы же лучшие подходы к анализу данных при оценке трансформации экосистем?



Для восстановления природных экосистем, необходимы эффективные и безопасные препараты - ремедианты

Вклад и востребованность в решении практических задач
Практическим итогом выполнения научных проектов стали патенты и методики измерений (МИ) токсичности почв, отходов, вод, разработанные на основе биотест-систем . Уже 8 наших МИ включены в реестр Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений РФ (<https://fgis.gost.ru/fundm-etology/registry>)



Биотическая концепция экологического контроля и нормирования: фундаментальные основы и внедрение в практику



*д.б.н., профессор
Терехова Вера Александровна*



8 903 260 44 69



Площадки для взаимодействия

1

учебные дисциплины

Биоиндикация загрязнений,
Технологии биотестирования...

2

квалификационные работы

курсовые, дипломные, диссертационные – публикации

3

научные проекты и решение практических задач

Гигиеническая концепция (ПДК) **VS** Биотическая концепция (ЭДУ)

Нельзя применять санитарно-гигиенические нормативы (ПДК) для регламентации техногенных нагрузок на экосистемы

Аргументы

Экспериментально не доказано, что человек самый чувствительный компонент биоты

Не учитываются эффекты аккумуляции и транслокации токсикантов в среде

Потеря химической определенности форм нахождения токсикантов в природных средах

Отсутствие дифференциации нормативов по природно-климатическим зонам

Факты

Некоторые биол. виды более чем на порядок чувствительнее к токсикантам

Длительное загрязнение на уровне, не превышающем ПДК в каждый из моментов времени приводит к накоплению токсикантов в концентрациях опасных, опасных для биоты

ПДК разрабатывают для одних форм а действуют другие (или в смеси с другими ингредиентами выбросов)

Чувствительность биоты к токсикантам в разных условиях различается

Этапы в развитии идей экологического нормирования (ЭН) на основе биотической концепции

I этап

«Предыстория ЭН» 1930-1940

преимущественно
гигиеническое нормирование
токсикантов в воде, воздухе,
продуктах питания, почве;
экоцентризм/антропоцентризм

С.С. Шварц

Н.С. Строганов

(предтечи)

II этап

Теоретические исследования в ЭН 1970-1980

- 1972 - «**всесторонний анализ окружающей среды**» - универсальный инструмент изучения антропогенных воздействий на природную среду и основной метод оценки их последствий
- 1984 - **состояние биотической составляющей как определяющее** в оценке качества среды
•*акад. Ю. Израэль*
- Теория экологических модуляций
- 1991 Абакумов В. А. Экологические модификации и развитие биоценозов в сб. Экологические модификации и критерии экологического нормирования

III этап

Практическая реализация ЭН с 1990- н.в.

прикладные аспекты

экспериментальные работы
зависимость «доза-эффект» на
экосистемах
популяционные аспекты на
млекопитающих
нормирование загрязнения и
нормативы ПДЭН для биоты

Биотические показатели

для постановки диагноза

методы
биоиндикации

in situ

Основные

методы
биотестирования

ex situ

Коррелятивные

Рекомендации к выбору биотест-систем для оценки экотоксичности по ГОСТу

ГОСТ Р ИСО 17616—2022

Таблица 1 — Биологические испытания для оценки экотоксического и генотоксического потенциала экстрагируемых жидкостью соединений, возможно присутствующих в почвах или почвенных материалах (функция удерживания)

Категория испытания	Трофический уровень	Испытуемые виды	Ссылка	Конечная точка	LID-значение ^{a,b}	Значительное биологическое воздействие ^b
Испытания острой экотоксичности	Редуцент	<i>Vibrio fischeri</i>	ИСО 11348 [12]	Ингибирование светового излучения	LID > 8	20 % ингибирования
	Первичный консумент	<i>Daphnia magna</i>	ИСО 6341 [13]	Иммобилизация	LID > 4	20 % ингибирования
Испытания хронической/субхронической экотоксичности	Первичный продуцент	<i>Lemna minor</i>	ИСО 20079 [14]	Торможение роста	—	25 % ингибирования
		<i>Raphidocelis subcapitata</i>	ИСО 8692 [15]	Торможение роста	LID > 4	25 % ингибирования
	Первичный консумент	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	ИСО 20665 [16]	Смертность и размножение	—	20 % смертности 30 % ингибирования
		<i>Brachionus calyciflorus</i>	ИСО 20666 [17]	Смертность и размножение	—	20 % смертности 30 % ингибирования

Испытания острой/краткосрочной экотоксичности	Редуценты и другие микробы	Почвенная микрофлора	ИСО 17155 [28]	Ингибирование дыхания	<p>Коэффициент активации дыхания (Q_R) > 0,3</p> <p>или $t_{\text{пик. макс}} > 50$ ч при $Q_R 0,2—0,3^a$</p> <p>При добавлении материала (например, осадка сточных вод) в почву рекомендуется использовать критерий воздействия 25 % ингибирования основного дыхания</p>
-----------------------------------------------	----------------------------	----------------------	----------------	-----------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
ИСО 17616—
2022

КАЧЕСТВО ПОЧВЫ

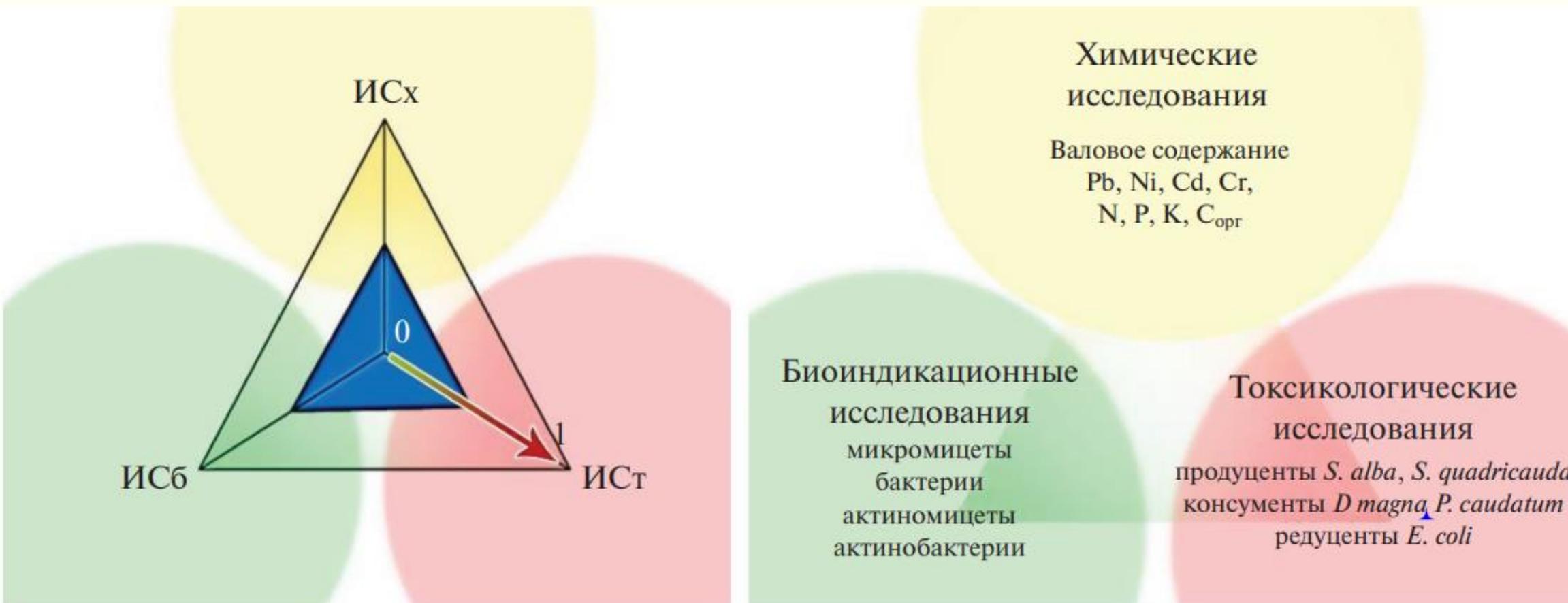
Руководство по выбору и оценке биопроб для определения экотоксикологических характеристик почв и почвенных материалов

(ISO 17616:2019, IDT)

Издание официальное

ИСО 19204:2017 Качество почвы. Методика оценки экологического риска локального загрязнения почвы (триадный подход к оценке качества почвы) /

ISO 19204:2017 Soil quality — Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach)



ИС - обобщенный индекс состояния почв и исследованные показатели

Каковы подходы
к получению и
анализу данных
для оценки
трансформации
экосистем ?

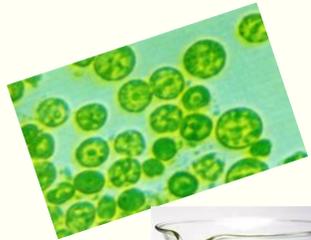
- **Индивидуальные экол. индексы** : общая численность, биомасса, биоразнообразие по Шеннону, Пиелу, ИБСП и др.
- **SSD - Species Sensitivity Distribution**: распределение чувствительности видов - комбинация биоиндикации и оценки токсичности
- **OMICS - технологии** : реконструкция по липидным профилям, метагеномный анализ и др.
- **Machine learning** : методы гибридного моделирования и др.
- **TRIAD approach** : междисциплинарный подход = КХА+ биоиндикация+ биотестирование
- При биоиндикации ведущая роль принадлежит экспертным оценкам и субъективным критериям выбора индикаторного параметра



Оценка токсичности - **БиоСканер**

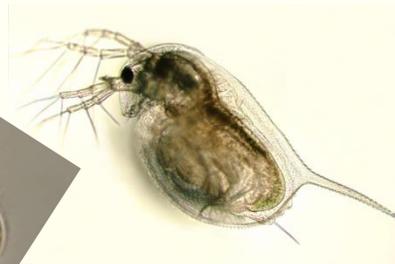
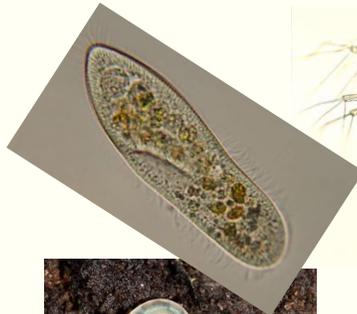
BIO Scanner – инструментарий для экспресс-оценки биобезопасности компонентов окружающей среды и техногенных объектов на основе тест-реакций организмов **основных трофических уровней**

продуценты



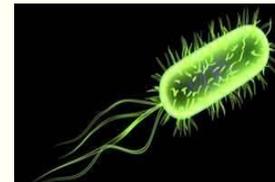
- микроводоросли
- высшие растения

консументы



- простейшие, низшие ракообразные
- беспозвоночные животные (энхитреиды)
- культура клеток млекопитающих

редуценты



- бактерии
- грибы



Научные проекты

Оценка
здоровья экосистем

о б ъ е к т ы

Природные

Мезокосмы

Лабораторные

в о з д е й с т в и я

промышленные отходы

тяжелые металлы

фармпрепараты

наноматериалы

нефтепродукты

Оценка
ремедиантов

Гуматы и биоугли

Нанокompозитные
сорбенты

Полимерные
материалы

Микробные
препараты

Студенты и аспиранты участвуют в грантах научных фондов



Программа развития МГУ № 23-Ш07-13 : Мелиорация и охрана почв. Новые подходы с использованием полимерных композиционных материалов

Междисциплинарная научно-образовательная школа Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» С 2021

РНФ 14-50-00029 Научные основы создания Национального банка-депозитария живых систем

РНФ 22-24-00666 : Меланинсодержащие грибы техногенно нарушенных почв: индикация химического загрязнения и биотехнологический потенциал

РНФ Ветеринарные антибиотики в почвенно-растительных системах: экологические последствия миграции в почве и накопление в сельскохозяйственных культурах



РНФ 22-24-00799 Устойчивость и механизмы биохимических адаптаций почвенных грибов, обладающих фитопатогенной и антагонистической активностью, в условиях химического загрязнения



РФФИ – Чехия РФФИ 20-54-26012 : Эффективность инновационных наносорбентов металлов и металлоидов в почвах, загрязненных выбросами металлургических предприятий: сравнительная оценка на основе геохимических и экотоксикологических параметров

Минобрнауки : «Проект «Чистая вода» как важнейшая составляющая сотрудничества РФ со странами Глобального Юга: социально-экономическое и технологическое измерения».

2024-2026



РНФ 25-24-00486

**Ветеринарные антибиотики в почвенно-растительных системах:
экологические последствия миграции в почве и накопление в
сельскохозяйственных культурах**

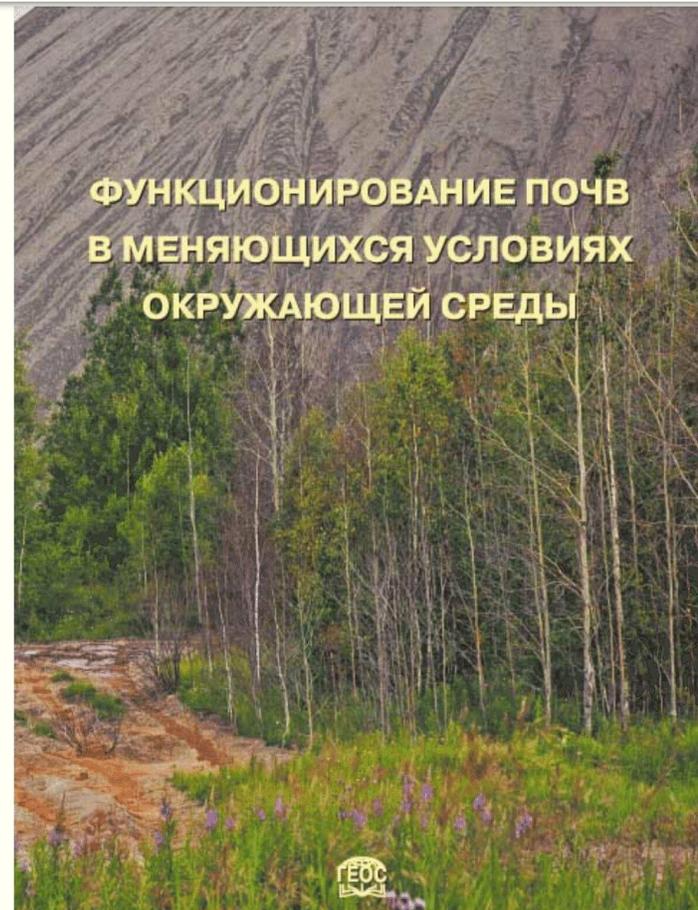




Пермский край, Березники-Соликамск

Состояние наземных и водных биомов вблизи солеотвалов и шламохранилищ как индикатор надежности изоляции ОРО, не допускающей распространение высокоминерализованных вод в Камское водохранилище

Терехова В.А. [и др.]. **Функционирование почв в меняющихся условиях окружающей среды** 2015. 164 с. ISBN 978-5-89118-690-3.



**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВ
В МЕНЯЮЩИХСЯ УСЛОВИЯХ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Биотестирование

Рудники Хабаровского края и Чукотки - добыча драгоценных металлов

(АО «Многовершинное», «Рудник Валунистый» и др.)

Highland Gold Группа компаний с 2015 г

Исследование безопасности отходов (хвостов)
цианирования руд серебряных и золотосодержащих

Экспериментальное подтверждение отнесения отходов
Медногорского медно-серного комбината к V классу
опасности для окружающей природной среды

Исследование продукта обезвреживания
хвостов цианирования руд рудопроявления
«Огородное-1»

Оценка токсичности золошлаковых отходов (проект ВТИ)



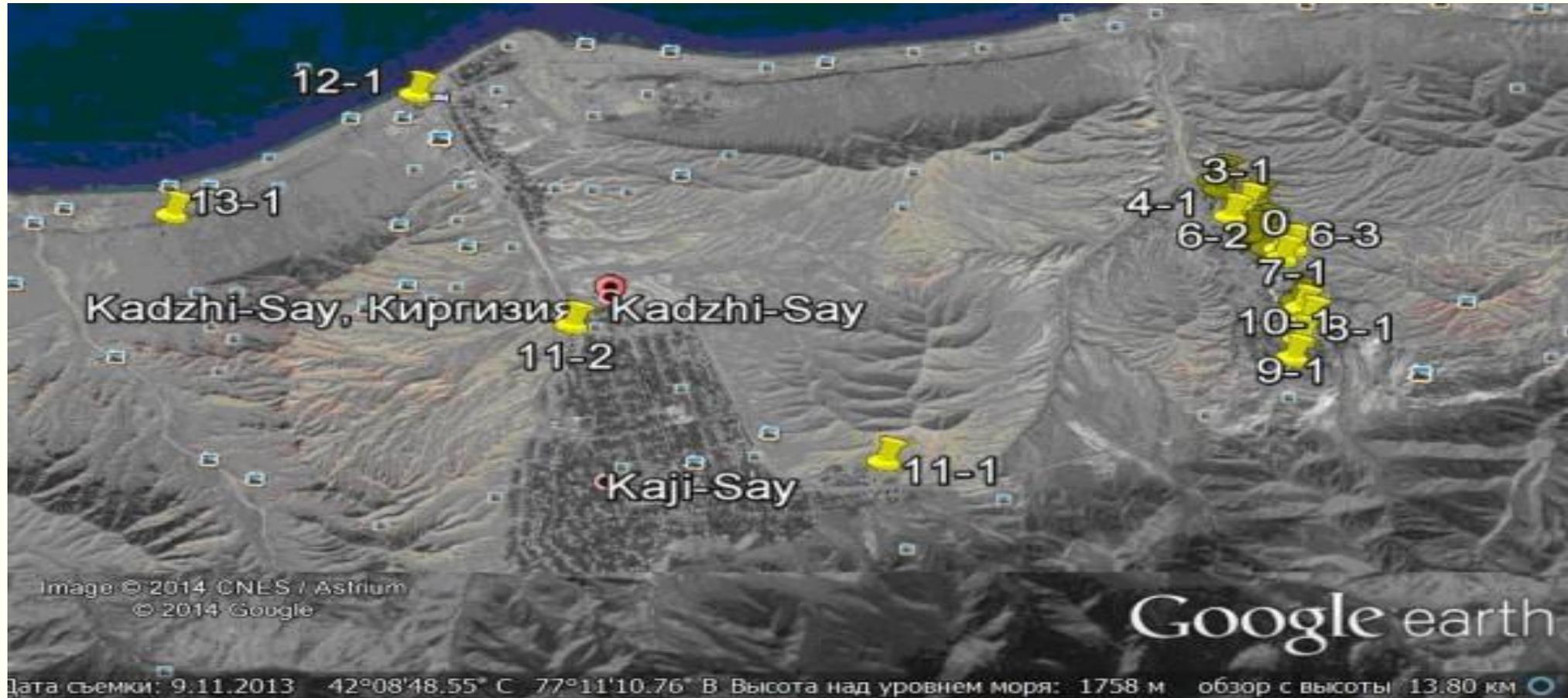


Фитотестирование тепличных субстратов Speland («Завод ТЕХНО») с 2013 г. по н.в.



Каджи-Сай, Иссык-Куль, Киргизия

Assessment of soils quality using SSD



- We have used the results of the analysis of the toxicity of soil samples from dumps of uranium mines (Kadzhi-Sai village, Kyrgyzstan).

Зона воздействия медно-никелевого комбината (Кольский полуостров, Мурманская область)

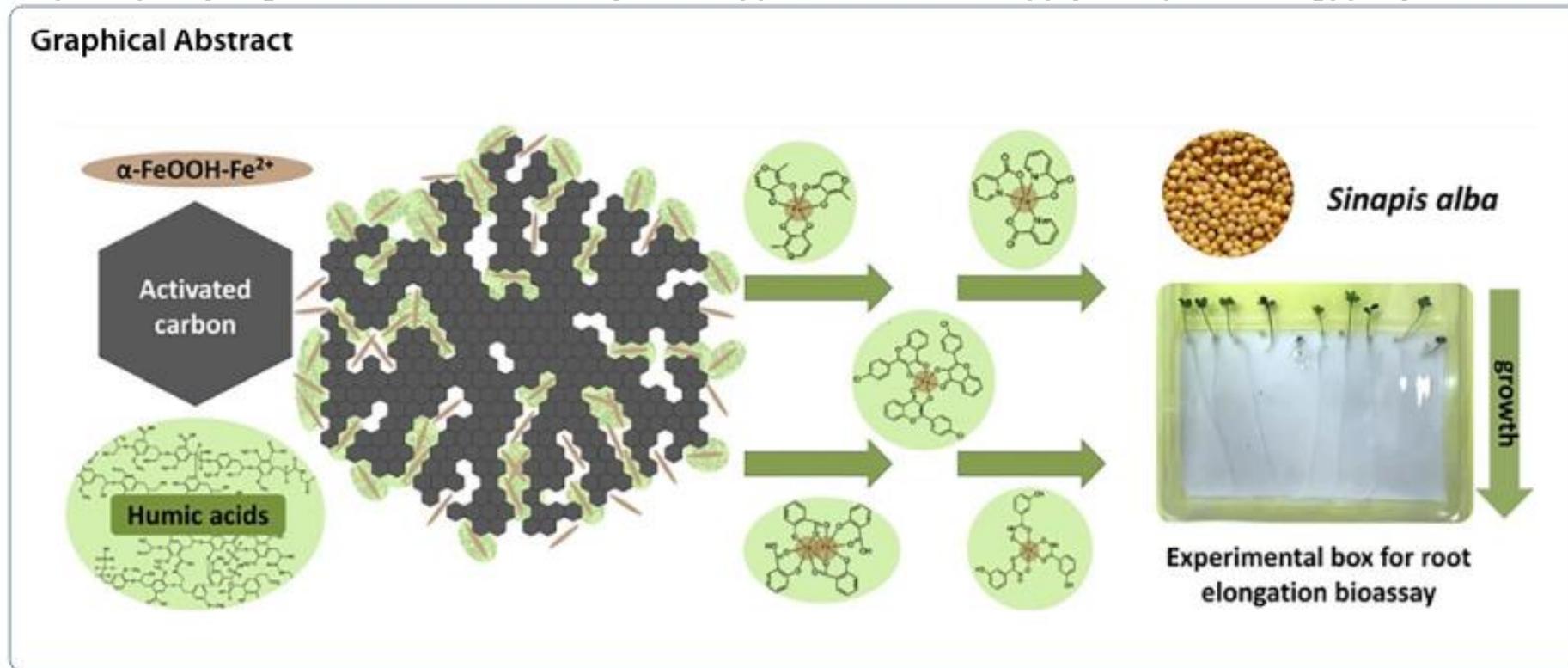
Чехия РФФИ 20-54-26012 : Эффективность инновационных наносорбентов металлов и металлоидов в почвах, загрязненных выбросами металлургических предприятий: сравнительная оценка на основе геохимических и экотоксикологических параметров



Промышленная пустошь (67°55'70" с.ш., 32°51'50" в.д.) в подзоне северной тайги,
0,7 км от завода, 60 км от город Апатиты (Slukovskaya et al., 2019)

Exploring the synergistic effects of goethite intercalated coal in the presence of humic acids for enhanced growth of *Sinapis alba* // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2024

ГК в сочетании с образованием Fe^{3+} и более биодоступных (растворимых) гуминовых комплексов Fe^{2+} является многообещающим результатом в части производства железосодержащих наноудобрений.



Наночастицы (НЧ) гетита α -FeOOH (G), интеркалированные в уголь (GC), для оценки биологической активности Железооксидные минерально-гумусовые комплексы служат резервуаром биодоступного железа для растений, выделяя металлы. лиганды и предоставление железо-гуминовых комплексов, которые можно напрямую использовать в механизмах поглощения железа растениями.



ЕВРОХИМ

МИНЕРАЛЬНО-ХИМИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ

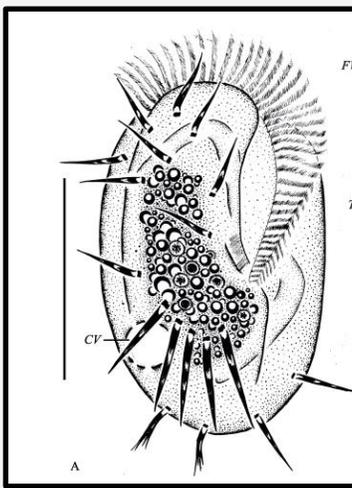
- **НИР 1 ноября 2022 - 30 апреля 2024**
- Определение научно-обоснованных принципов выбора тест-видов живых организмов и параметров оценки токсичности водно-солевых систем, содержащих производственные отходы со средним уровнем минерализации, для мониторинга состояния экосистем и минимизации воздействий предприятий на окружающую среду
- Завершен с аттестацией 2-х методик измерения токсичности и заявкой на патентование тест-культуры

Методики измерений токсичности , разработанные ЛЭТАП

Указаны коды регистрации в федеральном Информационном фонде по обеспечению единства измерений РФ

- ФР.1.39.2006.02506.** ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06 (ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10-06) Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg
- ФР 1.39.2006.02505.** ПНД Ф Т 14.1:2.14-06 (ПНД Ф Т 16.1:3.11-06) Методика определения токсичности высокоминерализованных поверхностных и сточных вод, почв и отходов по выживаемости солоноватоводных рачков *Artemia salina* L.
- ФР.1.39.2007.04104.** ПНД Ф Т 16.3.12-07 Методика определения токсичности золошлаковых отходов методом биотестирования на основе выживаемости парameций и цериодафний
- ФР.1.31.2009.06301 (ПНД Ф 14.1:2:4:15-09 16.1:2:2.3:3.13-09)** Методика определения токсичности почв, отходов, осадков сточных вод, сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования на основе реакции клеток млекопитающих *in vitro*.
- ФР.1.31.2012.11560** Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методом фитотестирования
- ФР.1.39.2014.18039** Методика измерений токсичности почв по реакциям энхитреид
- ФР.1.31.2020.38716.** Методика измерений биологической активности почв, субстратов растений, гуминовых веществ методом биотестирования. Фитоскан
- ФР.1.31.2024.48369.** Методика измерений токсичности по реакции инфузории эуплотес на среднеминерализованные водные вытяжки твердых отходов или сточные воды.
- ФР.1.31.2024.48371.** Методика измерений токсичности среднеминерализованных водных сред и отходов по изменению длины корней проростков семян горчицы белой *Sinapis alba* L.

Новая методика измерений токсичности - отходов фосфогипса и др. среднеминерализованных объектов
 Тест-культура брюхоресничных инфузорий *Euplotes aediculatus* Pierson, 1943.



a

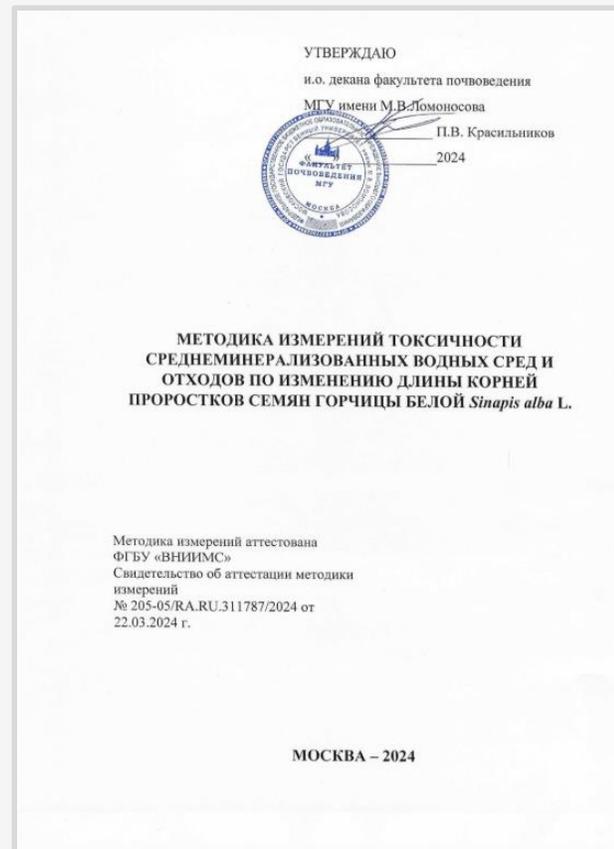
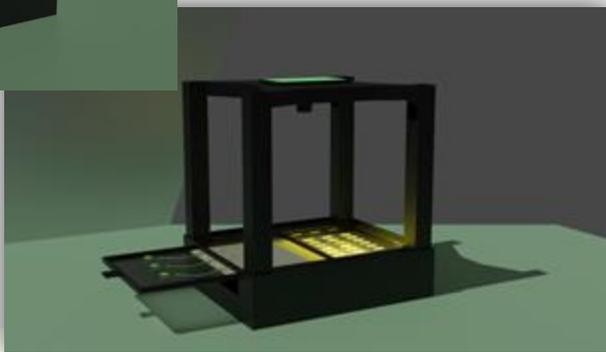
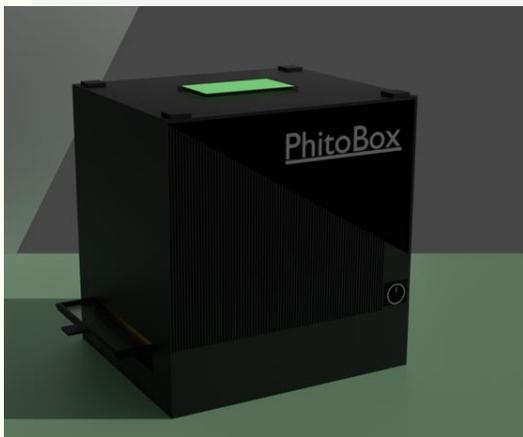
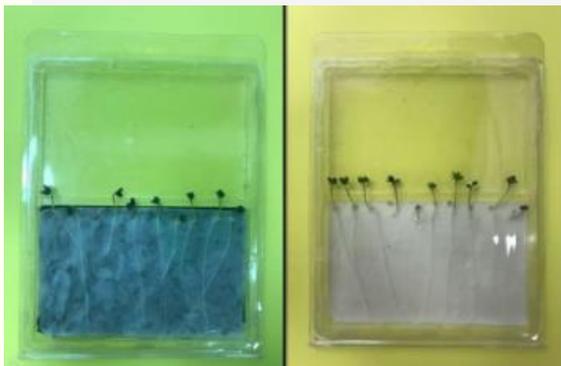
б

в

- Морфология (схема- a), внешний вид *Euplotes* (б) под световым и (в) под сканирующим микроскопом



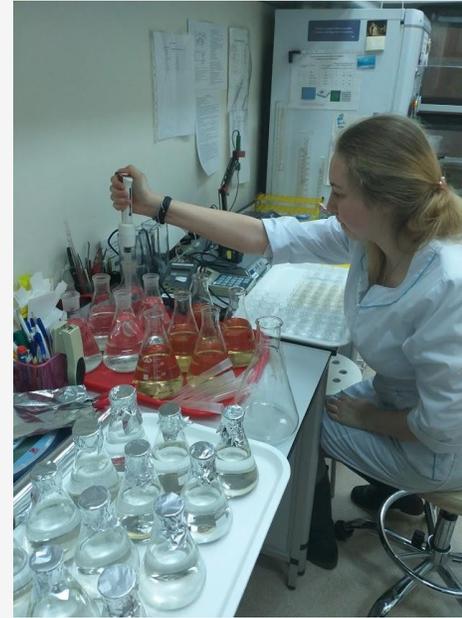
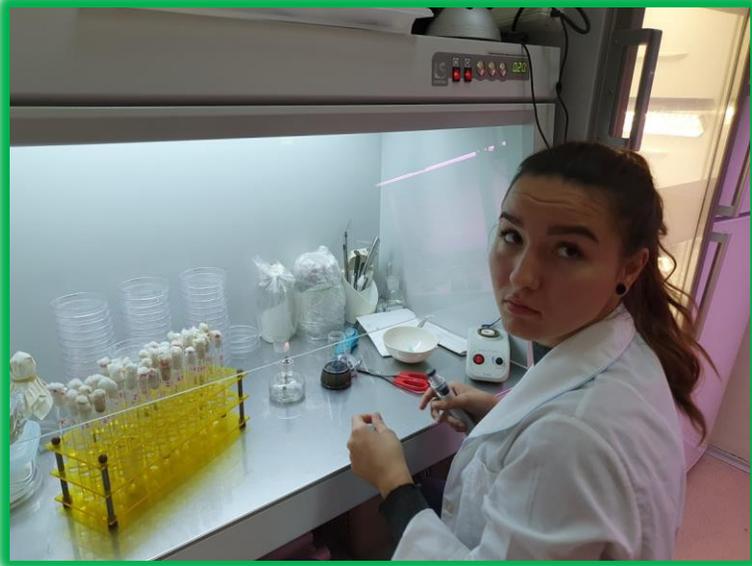
Новая методика измерений токсичности отходов фосфогипса и др. среднеминерализованных объектов - благодаря галотолерантности *Sinapis alba* L.



Практические занятия студентов



Большая доля экспериментальных исследований,
что необходимо для получения новых знаний и публикации результатов своей
работы





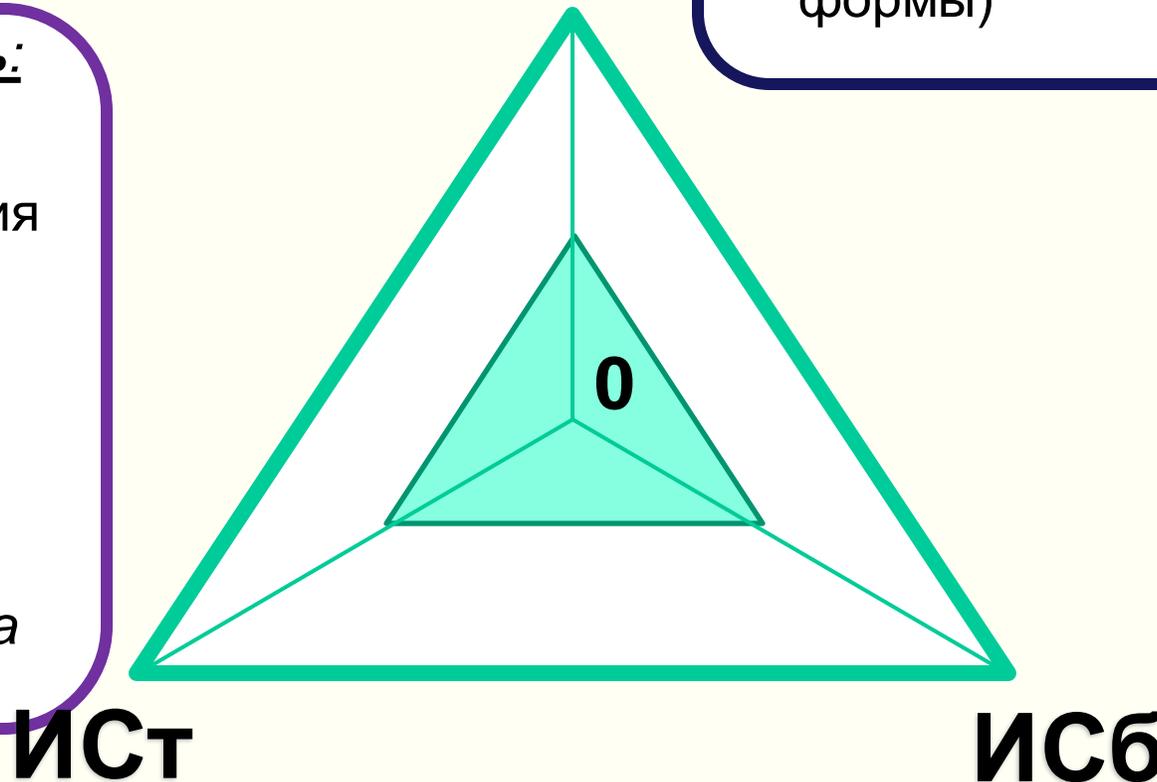
11.12.2024

Исследуемые показатели

Химический анализ

- pH
- содержание ТМ (водорастворимая, доступная для растений, обменная формы)

ИСх



Экотоксичность:

Тест-культуры

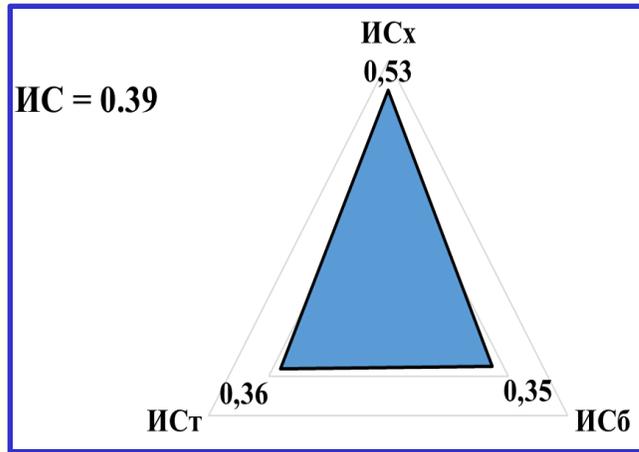
- Высшие растения
Sinapis alba
Газонная смесь
- Гидробионты
C. affinis
D. magna
Sc. quadricauda
P. caudatum

Биоиндикация

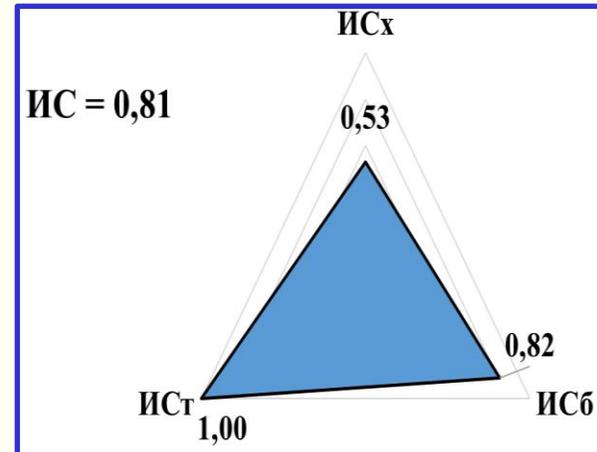
- Эмиссия CO₂
- Ферментативная активность:
кислая фосфатаза,
гидролазы,
пероксидаза
- Структура сообщества микровицетов

В центре треугольников 0 – «норма», на вершинах треугольников 1 – «экологическое бедствие». Площадь треугольника отражает степень нарушения почв и коррелирует с расчетным ИС.

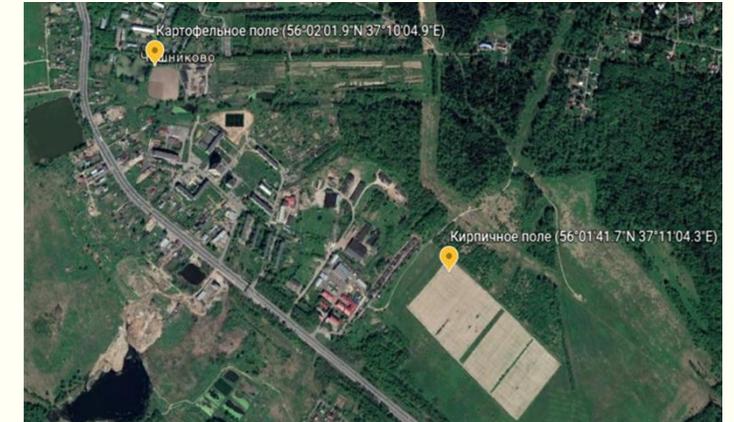
Фитотоксичность тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности / Терехова, и др. // Почвоведение. — 2021. — № 6. — С. 757–768



S1 – C_{орг} 3.86%



S2 – C_{орг} 1.30%

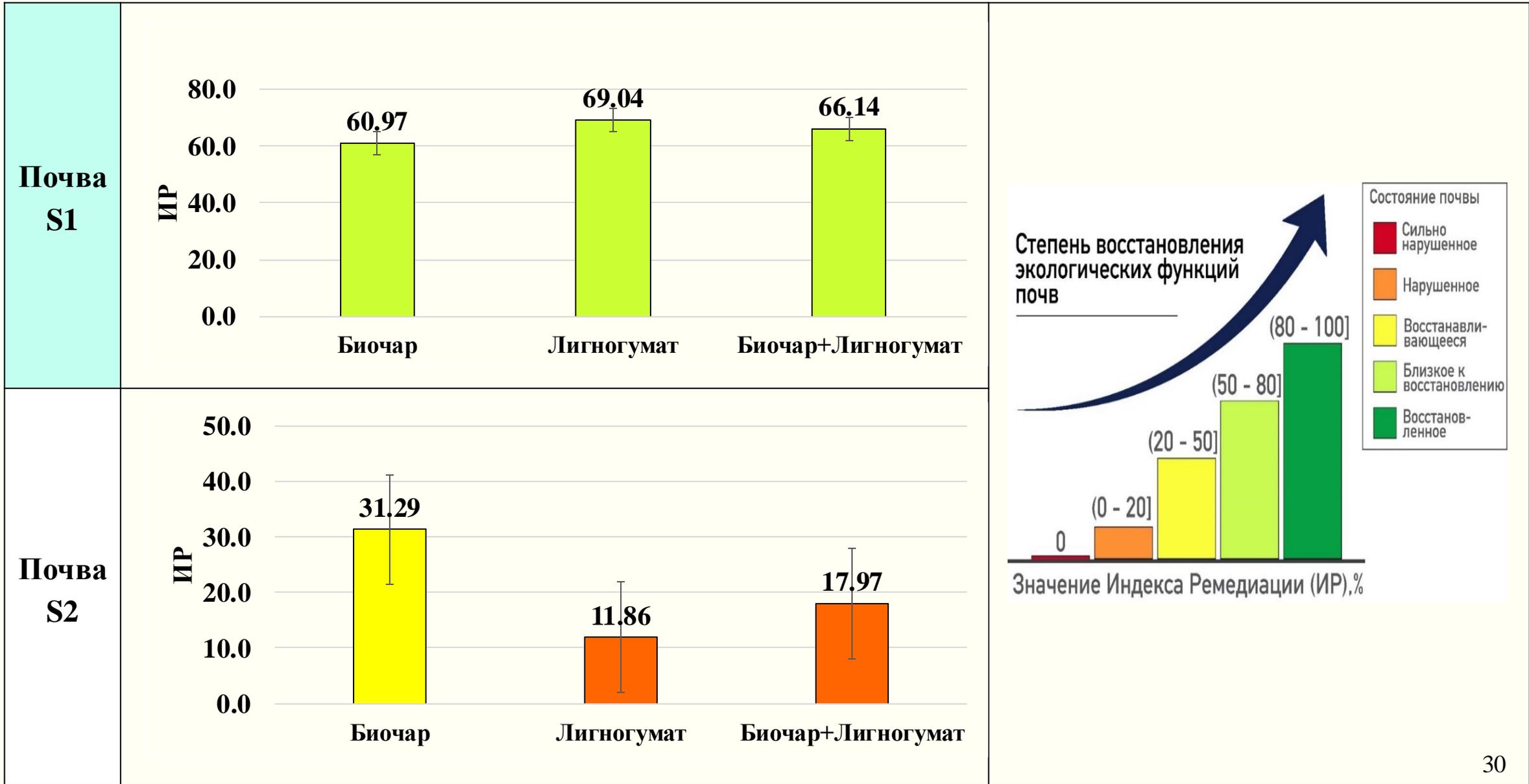


Московская обл., Солнечногорский район, территория УОПЭЦ «Чашниково»

Загрязнение одинаковой дозой ТМ слабоокультуренной почвы привело к полной гибели растений в вегетационном опыте, тогда как в сильноокультуренной растения развивались до стадии цветения

Вывод : О необходимости коррекции нормативов ориентировочно допустимого содержания ТМ для дерново-подзолистых почв с включением градаций содержания C_{орг} помимо pH и гранулометрического состава.

Влияние биочара и лигногумата ИР в загрязненных образцах почв



ИС загрязненных почв, обработанных ремедиантами

Вариант	Биочар	Лигногумат	Биочар+Лигногумат
Почва S1	<p>ИСх 0,82</p> <p>ИСт 0,23 ИСб 0,30</p>	<p>ИСх 0,74</p> <p>ИСт 0,21 ИСб 0,17</p>	<p>ИСх 0,64</p> <p>ИСт 0,28 ИСб 0,23</p>
Почва S2	<p>ИСх 0,92</p> <p>ИСт 1,00 ИСб 0,33</p>	<p>ИСх 0,93</p> <p>ИСт 1,00 ИСб 0,77</p>	<p>ИСх 0,87</p> <p>ИСт 1,00 ИСб 0,66</p>

Микробиологические показатели агродерново-подзолистых почв разной гумусированности при внесении тяжелых металлов и углеродсодержащих препаратов / В. А. Терехова, Е. В. Прудникова, С. А. Кулачкова и др. // Почвоведение. 2021. № 3. С. 372–384.

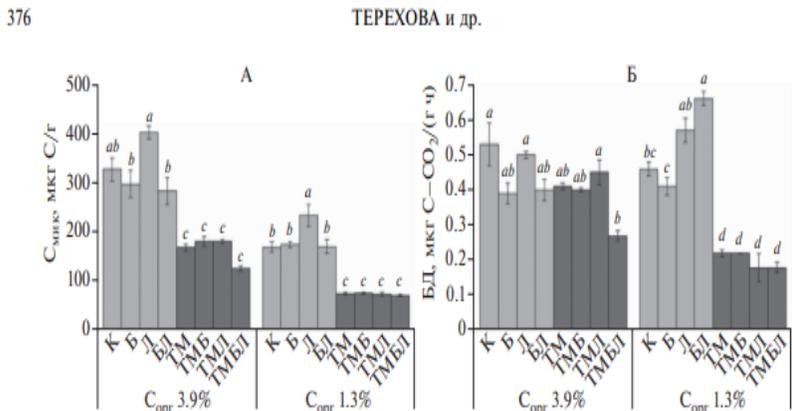


Рис. 1. Углерод микробной биомассы ($C_{мик}$, А) и скорость базального дыхания (БД, Б) в агродерново-подзолистых почвах (0–20 см) с разным содержанием органического углерода ($C_{орг}$) и способов обработки. Обозначения здесь и далее на рисунках: контроль (К), биоуголь (Б), лигнотум (Л), Б + Л (БЛ), тяжелые металлы (ТМ), ТМ + Б (ТМБ), ТМ + Л (ТМЛ), ТМ + Б + Л (ТМБЛ). Среднее \pm стандартная ошибка среднего ($n = 3$); величины с разными буквами

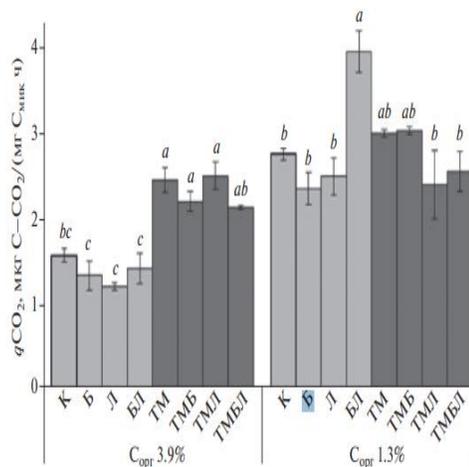


Рис. 2. Удельное дыхание микробной биомассы (qCO_2) агродерново-подзолистой почвы (0–20 см) с разным содержанием органического углерода ($C_{орг}$) и способов обработки.

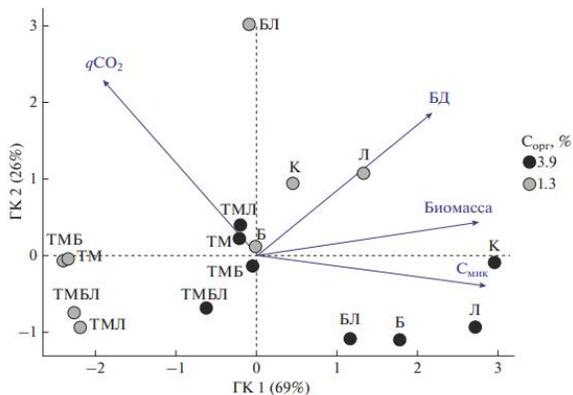


Рис. 3. Проекция показателей ($C_{мик}$, углерод микробной биомассы; БД, базальное дыхание; qCO_2 , удельное дыхание микробной биомассы; биомасса растений горчицы) агродерново-подзолистых почв разной гумусированности на первую и вторую главные компоненты (ГК).

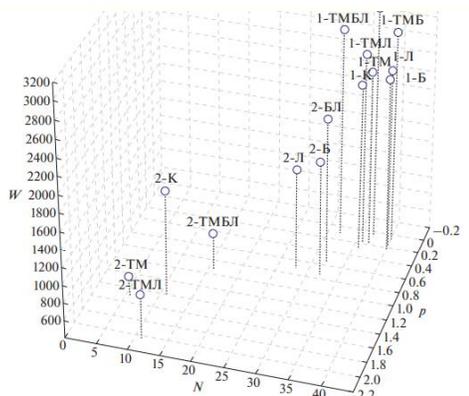


Рис. 4. Показатели функционального разнообразия микробных сообществ агродерново-подзолистых почв (слой 0–20 см) с высоким (1) и низким (2) содержанием $C_{орг}$ и разными способами обработки. Обозначения здесь и на рис. 5: N – количество потребленных субстратов, W – удельная метаболическая работа, отн. ед.; p – коэффициент рангового распределения спектра потребления субстратов.



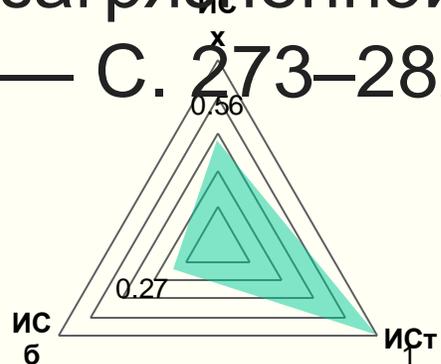
Вывод : структурные и функциональные микробные маркеры, выявленные методом МСТ, и содержание С микробной биомассы предоставляют более значимую информацию об изменении микробного сообщества почвы, по сравнению с дыхательной микробной активностью

Зона воздействия СУМЗ , Урал

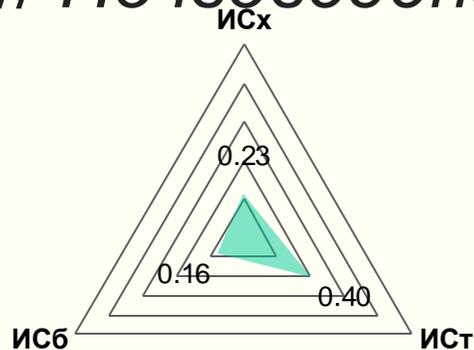


•2020 Root elongation method for the quality assessment of metal-polluted soils: Whole soil or soil-water extract?
Terekhova V.A., Karpukhin M.M., Vorobeichik E.L., и др. // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, том 20, с. 2294-2303

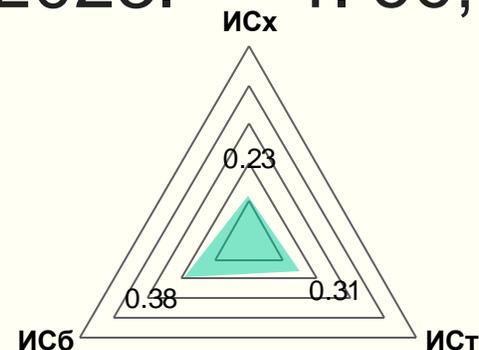
Сравнение эффективности микро- и наночастиц нульвалентного железа при детоксикации техногенно загрязненной почвы // Почвоведение. — 2023. — Т. 56, № 2. — С. 273–282



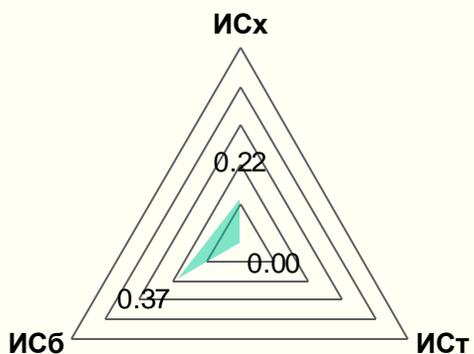
КОНТРОЛЬ



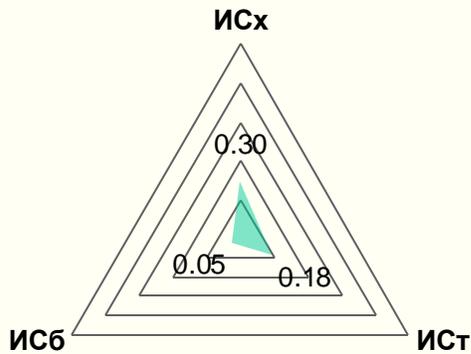
ДОЛОМИТ



ДОЛОМИТ+БИОЧАР

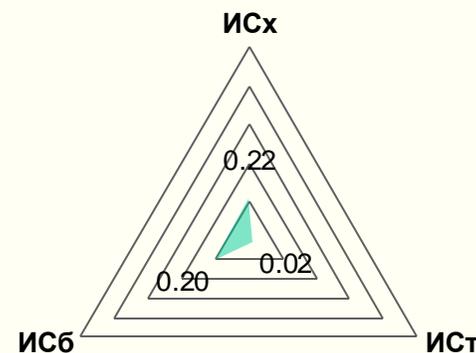


ДОЛОМИТ+КОМПОЗИТ
11.12.2024

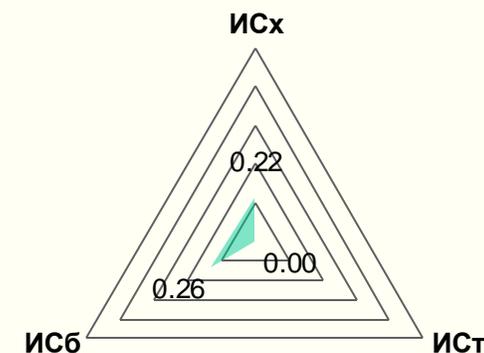


ДОЛОМИТ+БИОЧАР+
КОНКРЕЦИИ

Симпозиум Биодиагностика_29.08.2023

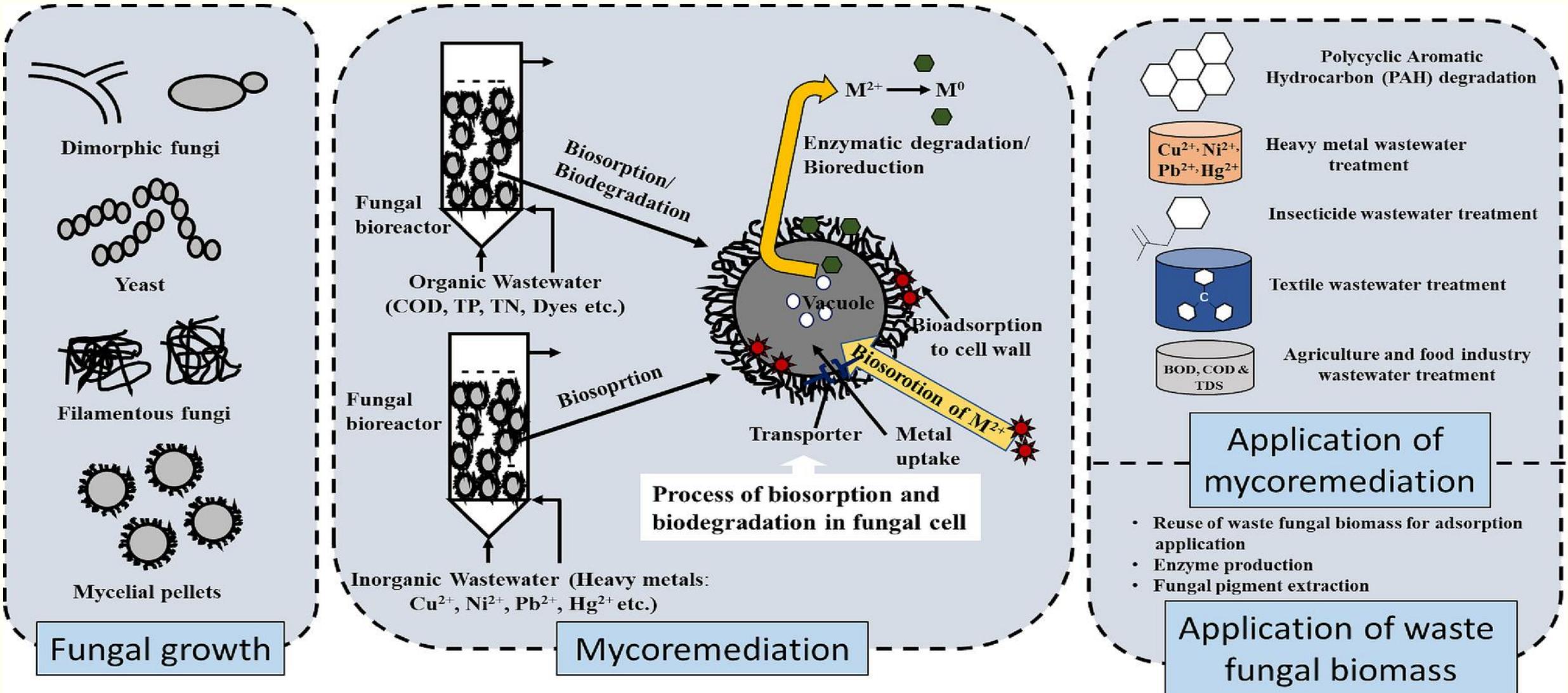


ДОЛОМИТ+ЖЕЛЕЗНЫЙ
ПОРОШОК



ДОЛОМИТ+БИОЧАР+
ЖЕЛЕЗНЫЙ ПОРОШОК

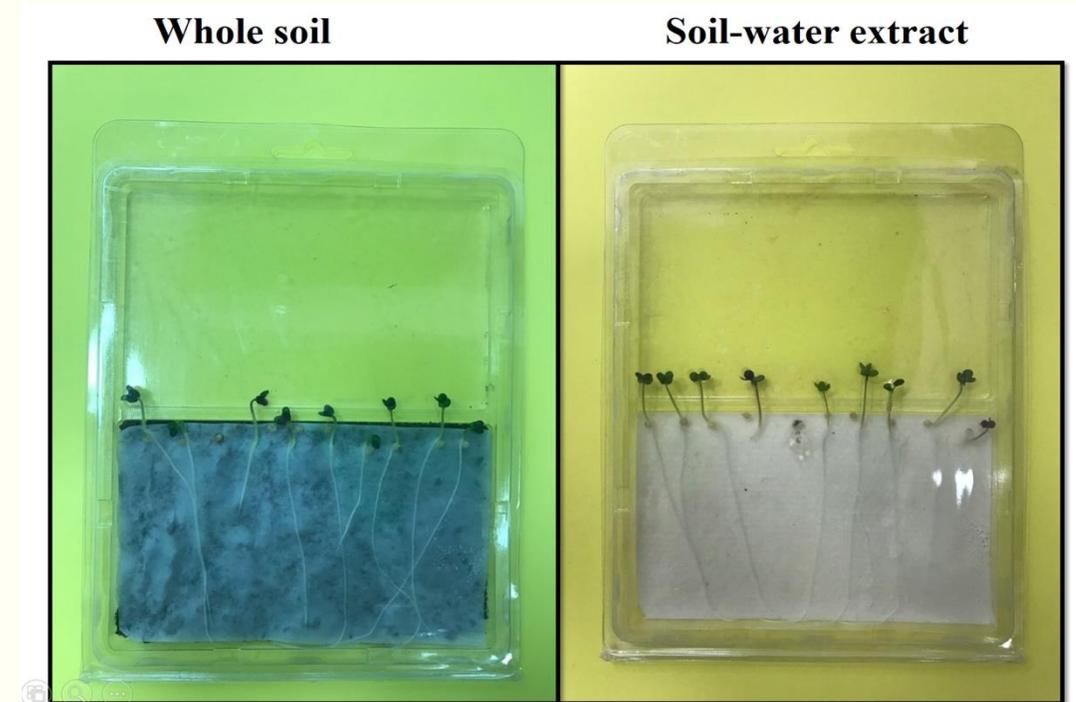
Возможности микоремедиации



Варианты реализации лабораторных фитотестов



Вариант фитотестирования в чашках Петри
(согласно МР 2.1.7.2297-07)



Планшетный вариант фитотестирования,
(согласно ФР.1.31.2012.11560)

Проблемы

Очевидные преимущества биологической оценки должны бы служить объективными стимулами внедрения новых методик биотестирования.

Однако,

- **недостаточное количество методических документов и инструментальных методик биотестирования, источников обеспечения тест-культурами**
- **отсутствие подготовленных специалистов биологического профиля в производственных и контролирующих лабораториях**
- **скудность материально-технической базы, технического оборудования и специализированных приборов для проведения биотестирования**

продолжают оставаться проблемой и препятствием для должного использования биотестирования в природоохранной практике.

Именно поэтому аккредитованным лабораториям приходится ограничиваться все тем же небольшим набором распространенных биотестов на гидробионтах. В частности, согласно действующим «Критериям отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (утв. приказом Минприроды России от 4 декабря 2014 г. № 536), рекомендовано использовать для оценки лишь острой токсичности два вида гидробионтов, что на самом деле не может адекватно отражать уровень токсичности проб и делать заключение для многих видов сложных загрязнений.

