

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя  
общеобразовательная школа № 1 города Грязи  
Грязинского муниципального округа Липецкой области

Липецкая область, г. Грязи

Номинация «Зелёная инженерия»

# **Рекультивация загрязнённых грунтов в лабораторных условиях с помощью применения методов фиторемедиации**

**Автор:** Келипова Ксения Леонидовна, 11 класс  
МБОУ СОШ № 1 г. Грязи Липецкой области  
**Руководитель:** Новикова Галина Михайловна,  
учитель биологии  
МБОУ СОШ № 1 г. Грязи Липецкой области

2025 год

## Оглавление

	Стр.
Введение .....	3
Глава 1. Обзор источников информации.....	4
1.1. Изменения почвенного покрова при нефтяном загрязнении .....	4
1.2. Методы очистки почв от углеводородных загрязнений.....	5
1.3. Фиторемедиация - способ очистки почв от углеводородных загрязнений.....	5
Глава 2. Материалы и методы исследования.....	6
2.1. Составление списка растений, используемых в фиторемедиации, способных к очистке почв от нефти и нефтепродуктов.....	6
2.2. Проведение экспериментальных исследований эффективности растений фиторемедиантов в очистке и восстановлении нефтезагрязненных почв.....	6
2.2.1. Подготовка почвенных образцов, загрязненных нефтепродуктами.....	6
2.2.2. Характеристика опытных образцов растений, условий проращивания...7	7
2.3. Определение свойств опытных образцов почв до и после выращивания растений .....	9
Глава 3. Результаты исследования и их обсуждение.....	10
Заключение.....	17
Выводы.....	17
Список источников информации.....	18
Приложение.....	19

## Введение

Нефтяные углеводороды (нефть и продукты ее переработки) являются одними из наиболее широко распространенных загрязнителей окружающей среды в настоящее время. Загрязнения нефтяными углеводородами может происходить как при утечки нефти и нефтепродуктов во время транспортировки, аварийных разливов нефтепродуктов из цистерн, деятельности промышленных предприятий (1).

Нефтепродукты, вылитые на землю, всасываются очень быстро, поэтому очистка почвы очень трудоемкий и сложный процесс (1).

На территории Липецкой области нет нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, однако аварийные разливы углеводородов случаются. Так в августе 2023 года из-за ДТП произошел разлив нефтепродуктов в селе Замартынье Добровского района. Площадь разлива составила около 300 кв. м. В 2018 году экологическое бедствие произошло на территории особо охраняемой природной территории «Студеновская дубрава» в Липецком районе, недалеко от деревни Ясная поляна. Поэтому изучение данной проблемы актуально и для нашей области.

Проблеме агротехнической и биохимической рекультивации нефтезагрязненных земель в различных климатических регионах посвящено несколько сот работ (5). После произошедшего в декабре 2024 года экологического бедствия в Керченском проливе значение таких разработок возросло. Однако, и сейчас однозначного решения этой задачи пока нет.

В 2024 году учащиеся нашей школы приняли участие в проекте «Подготовка наставников на основе сетевых исследовательских проектов» фонда «Образования» и Фонда президентских грантов совместно с Новосибирским государственным университетом. Настоящая работа является частью большого командного проекта «Петрофизика».

Основными этапами командного проекта являются:

- изучение свойств песчаных горных пород и их изменений в зависимости от действия загрязняющих веществ (нефтяных углеводородов);
- рекультивация загрязненных грунтов в лабораторных условиях с помощью применения методов фиторемедиации.

**Цель:** Изучить процесс рекультивации загрязненных грунтов в лабораторных условиях на объекте горох посевной с помощью применения методов фиторемедиации.

**Задачи:**

1. Составить список растений, используемых в фиторемедиации, способных к очистке почв от нефти и нефтепродуктов в условиях Липецкой области.
2. Провести экспериментальные исследования эффективности растений фиторемедиантов в очистке и восстановлении нефтезагрязненных почв.
3. Определить свойства опытных образцов почв до и после выращивания растений.

**Объект исследования.** Почвогрунт, загрязненный углеводородами (бензин, дизельное топливо, машинное масло). Горох посевной (*Pisum sativum*) как растение фиторемедиант.

**Методика исследования.**

1. Экспериментальные методы определения свойств почвогрунта в лаборатории (кислотность, пористость, плотность).
2. Методы биоремедиации, посев растений, которые способны вытягивать из почвы и накапливать в своих тканях загрязняющие вещества.
3. Метод биоиндикации с использованием тест-растений.
4. Математические методы анализа получаемых данных.

**Гипотеза.** Свойства загрязненных углеводородами почвенных грунтов под действием растений улучшаются. Горох можно использовать как растение реамедиант.

Новизна работы заключается в использовании гороха посевного в качестве фиторемедианта. Это растение было взято для исследований так как горох сидеральная культура и его можно использовать как зеленое лекарство. В перспективе планируются исследования с другими растениями: сорными, декоративными и др.

## **Глава 1. Обзор источников информации**

### **1.1. Изменения почвенного покрова при нефтяном загрязнении**

Нефть и нефтепродукты оказывают негативное воздействие на состояние почв, они способны привести к изменениям в их составе и свойствах, что отрицательно сказывается на их плодородие в гумусовом составе, которые являются основными характеристиками качества почвы.

Общая характеристика изменений, происходящих в почвах при попадании в них нефти и нефтепродуктов:

- Нарушение фотосинтезирующей деятельности растительного покрова, затрудняется поступления к растениям питательных веществ и влаги, в результате чего растения либо погибают, либо функционируют не в полной мере.

- Нарушение баланса почвенных микроорганизмов, т.е. микроорганизмы не устойчивые к нефтяному загрязнению, но которые могут быть полезны для растений и для внутренних почвенных процессов погибают, но при этом увеличивается доля микроорганизмов - деструкторов нефтяных загрязнений.

- Загрязнение других сфер окружающей среды, так как пористая структура почвы позволяет компонентами нефтезагрязнений улетучиваться в атмосферу, а грунтовые воды, позволяют растворимым загрязняющим веществам переноситься в водоемы.

- Увеличение содержания органического углерода в почве, так как основу нефтезагрязнений составляют углеводороды.

- Способность почв к самоочищению при высоких концентрациях загрязнителя замедляется (1).

## 1.2. Методы очистки почв от загрязнений

Нефтезагрязнение почв на сегодняшний день является одной из основных экологических проблем, требующих технологических подходов к решению.

Существующие методы очистки почв от нефтезагрязнений подразделяются на механические (откачка нефти, замена почв, сжигание), химические (осаждение, окисление, восстановление, замещение, комплексообразование), физико-химические (промывка, экстракция, сорбция), биологические (биоремедиация и фиторемедиация). Каждый из методов очистки имеет положительные стороны и недостатки. Более подробная характеристика методов приведена в таблице № 6 «Основные способы очистки почв от нефтезагрязнений» (Приложение 1).

## 1.3. Фиторемедиация, как способ очистки почв от нефти и нефтепродуктов

Технологии фиторемедиации используют живые растения для очистки почвы, воздуха и воды, загрязненных опасными веществами. Этот термин представляет собой смесь греческого *phyto* (растение) и латинского *remedium* (лечение). Преимуществами фиторемедиации является возможность осуществления процесса на большой территории, простота реализации и экономичность.

Существует несколько механизмов фиторемедиации:

- фитостабилизация — это механизм выделения растением химических соединений, которые иммобилизуют загрязнения на поверхности раздела корней и почвы;

- фитоаккумуляция — это механизм захвата загрязнений корнями растения и затем его перенос и накопление (фитоэкстракция) в побегах растения и листьях;

- ризофильтрация — этот механизм подобен фитоэкстракции, однако вначале обычно корневые системы растений развивают в водной среде внутри парника до стадии зрелости. Когда корневая система достаточно развита, к растениям подводят загрязненную воду;

- фиторазложение — это разложение загрязнений внутри побегов растений (2).

При анализе литературных источников, статей по применению методов биоремедиации мы собрали свод практических рекомендаций.

1. Растения, используемые для рекультивации, должны быть апробированных сортов и местных популяций. Высаживаемые растения должны быстро акклиматизироваться, обладать устойчивостью к неблагоприятным условиям микроклимата и отрицательным физическим и химическим свойствам грунта, иметь сильно развитую корневую систему, обладать способностью к симбиозу с микроорганизмами [2].

2. Важным фактором, определяющим интенсивность биоразложения нефтепродуктов, является обеспеченность почв биогенными элементами —

азотом, фосфором, калием. Скорость биологического окисления углеводов увеличивается при добавлении в почву нитратов и фосфатов [3].

3. Оптимальной температурой разложения нефтепродуктов в почве является 20–40°C. Одним из эффективных приемов регулирования температуры почв является покрытие загрязненных участков темной полиэтиленовой пленкой [3].

4. Скорость деструкции нефтепродуктов зависит от влажности почвы, наличия свободного кислорода, рН. С увеличением активной реакции среды (рН) скорость разрушения нефтепродуктов возрастает [3].

5. Лучшим агротехническим приемом при выращивании многолетних трав на нефтезагрязненных землях следует считать применение торфа или навоза с внесением минеральных удобрений [2].

6. Очень часто на практике применяют такие широко распространенные мелиоранты, как навоз и солома. Навоз ускоряет процесс эмульгирования и микробиологического разложения токсических компонентов отработанных буровых растворов. Добавление соломы способствует аэрации почвы и развитию почвенных микроорганизмов [4].

## **Глава 2. Материалы и методы исследования**

### **2.1. Составление списка растений, используемых в фиторемедиации, способных к очистке почв от нефти и нефтепродуктов**

Задача. Составление списка растений, используемых в фиторемедиации, способных к очистке почв от нефти и нефтепродуктов.

Метод - анализ литературных источников.

### **2.2. Проведение экспериментальных исследований эффективности растений фиторемедиантов в очистке и восстановлении нефтезагрязненных почв**

Задача. Провести экспериментальные исследования эффективности растений фиторемедиантов в очистке и восстановлении нефтезагрязненных почв.

#### **2.2.1. Подготовка почвенных образцов, загрязненных нефтепродуктами**

Оборудование: песок карьерный, бензин 92, дизельное топливо, машинное масло, почва, емкости для смешивания, мерные стаканы, весы.

Песок карьерный, был взят из ямы для прыжков. На территории школы запрещен выгул животных, на зимний период яма закрывается пленкой. Образцы верхнего слоя почвы взяты с территории памятника природы местного значения «Дубовая роща» с глубины 20-25 см. Образцы очищены от крупных остатков растительности (ветки, корни).

Загрязнение песков нефтепродуктами производили в пропорциях, представленных в таблице №1.

Таблица №1.

Загрязняющее вещество и суммарная масса НП (нефтепродукта) к общей  
массе почвы для опыта №1

Номер образца	Песок	Загрязняющее вещество	Почва	Массовая доля НП	Органолептика
1	500 гр.	Бензин 100 мг	1000 гр.	0,07	Запах резкий
2	500 гр.	Диз. топливо 100 мг	1000 гр.	0,07	Запах резкий
3	500 гр.	Машинное масло 100 мг	1000 гр.	0,07	Запах резкий
4 (контр)	500 гр.	Без загрязнителя	1000 гр.	0	Естественный запах

Процент загрязнения почвы углеводородами измеряется в виде массовой доли нефтепродуктов (НП) — отношения суммарной массы НП к общей массе почвы. Для расчёта содержания нефтепродуктов ( $X$ , мг/кг) использовали формулу:  $X = a / b$ , где  $a$  — количество нефтепродуктов (в мг),  $b$  — навеска почвы, взятой для анализа (в г). При визуальной и органолептической оценке использовали показатели: наличие маслянистой пленки на поверхности, характерный специфический запах при нарушении целостности почвенного покрова.

### 2.2.2 Характеристика опытных образцов растений, условий проращивания

Для проведения исследований в качестве тест-растений мы брали 2 вида семян микрорзелени: амарант или ширлица (рис 1-Б), шпинат (рис 1-В).

В качестве растения, улучшающего качество почвы при нефтяном загрязнении - горох сорта Мадрас (рис 1-А).

Горох сорта Мадрас (*Pisum. sativum* L.) растение семейства бобовых. Пищевая, кормовая и сидеральная (зеленое удобрение) культура. Сорт Мадрас среднепоздний сорт усатой формы, устойчив к полеганию и растрескиванию бобов. Высота растения 60-80 см Ранний, хорошо переносит ранневесенние заморозки. Устойчивость к болезням: средняя — фузариоз, бактериоз, слабая — ржавчина, аскохитоз. Средне засухоустойчив.



А

Б

В

Рис.1. А – горох, Б – амарант, В – шпинат

Выращивание семян микрозелени производили в чашках Петри. (рис 2). Опыт производился при комнатной температуре + 20, при естественном освещении (приложение №3).

Дата закладки опыта – 10.01.2025 г.



Рис. 2. Посадка микрозелени

Таблица №2.

Схема посадки микрозелени

	Амарант	Шпинат
Бензин	50 семян	50 семян
Дизельное топливо	50 семян	50 семян
Машинное масло	50 семян	50 семян
Контроль	50 семян	50 семян

Так как семена амаранта и шпината очень мелкие, количество высаженных семян подсчитывалось + - 2.

При анализе подсчитывалась **всхожесть** – отношение числа проросших семян к числу посеянных. В нашем опыте на 7 сутки. И подсчитывалась **энергия прорастания** семян — скорость прорастания, выражаемая в проценте семян, проросших (давших корешки и ростки) в срок, установленный опытным проращиванием. В нашем опыте на 3 сутки.

Для опыта по выращиванию гороха были использованы специальные посадочные кассеты объёмом 250 мл. в которые мы поместили загрязненный почвогрунт и посеяли семена. (рис 3). Схема опыта представлена в таблице №3.

Дата закладки опыта – 10.01.2025 г.

Таблица №3.

Схема опыта по выращиванию гороха мадрас

Загрязнитель	№ повторности	Кол-во семян гороха
Бензин	1	5
	2	5
	3	5
	контроль	5

Дизельное топливо	1	5
	2	5
	3	5
	контроль	5
Машинное масло	1	5
	2	5
	3	5
	контроль	5

Высадка семян производилась без предварительного замачивания. Опыт производился при комнатной температуре + 20, при естественном освещении.



Рис 3. Посадка семян гороха

### 2.3. Оценка свойств опытных образцов почв до и после выращивания растений

#### 1. Определение плотности и пористости почвенных образцов

Для определения пористости почвогрунтов мы использовали метод Преображенского, описанный в методических рекомендациях (2).

Взвешивали исследуемые образцы и определяли массу в сухом состоянии  $m_{\text{сух}}$ . Затем наполняли образцы водой таким образом, чтобы вода заполняла все пустоты и не превышала уровень исследуемого образца. Взвесив образцы с учетом массы используемой емкости, получили массу в насыщенном состоянии.

Зная  $m_{\text{сух}}$  и  $m_{\text{нас}}$  вычисляли объём воды в порах по формуле.

$$V_{\text{воды}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{\rho_{\text{воды}}},$$

где  $\rho$  – плотность воды.

Зная объём пор и объём образцов оценили пористость образцов по формуле:

$$P = \frac{V_{\text{пустот}}}{V_{\text{образца}}}$$

Плотность рассчитывали по формуле:

**Плотность**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\rho$  - плотность тела ( $\frac{кг}{м^3}$ ),

$m$  - масса тела (кг),

$V$  - объем тела ( $м^3$ )

## 2. Определение наличия карбонатов

Наличие карбонатов в почве мы определяли с помощью HCl 0,1M. Если в почве находится значительное количество карбонатов, то при добавлении нескольких капель соляной кислоты на почве будет наблюдаться вспенивание.

## 3. Измерение pH

Водородный показатель (pH) среды является важной химической характеристикой, от которой зависит биоразнообразие населяющей её организмов. Мы использовали два способа определения. Первый способ - простейший способ измерения pH - использование индикаторной бумаги. Сначала мы приготовили водную вытяжку. Для этого половину объёма пробирки типа «эппендорф» заполнили образцом почвы, затем, оставшийся объем пробирки заполнили дистиллированной водой, пробирку плотно закрыли крышкой и перемешивали в течение 5 минут. Дождались полного осаждения взвеси почвы на дно пробирки и опустили индикаторную бумагу в почвенную вытяжку. Сравнили окрашивание индикаторной бумаги со шкалой. Второй способ – применение лабораторного диска.



Рис 4. Лабораторный диск для определения кислотности

## **Глава 3. Результаты исследования и их обсуждение**

1. Анализируя литературные источники, мы составили список растений - фиторемедиантов, способных к очистке почв от нефти и нефтепродуктов. Данный список представлен в приложении №2.

Важно, чтобы растения, используемые для рекультивации, были местных популяций, способных к симбиозу с микроорганизмами.

Интересно было узнать, например, об устойчивости бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.) к нефтяному загрязнению. Это красивое

декоративное растение способно к произрастанию в антропогенно-загрязненных условиях городской среды практически во всех географических зонах России.

2. Для исследования мы подготовили почвенные образцы с различными углеводородными загрязнителями: бензин, дизельное топливо, машинное масло с массовой долей нефтепродуктов 0,07%.

3. Оценка свойств опытных образцов почв до выращивания растений.

Определяли плотность, пористость, кислотность, наличие карбонатов. Результаты занесены в таблицу №4. Оценить показатели плотности и пористости нам помогли ребята, занимающиеся разработкой первой части командного проекта «Петрофизика».

Таблица №4.

Свойства почвенных образцов до выращивания растений

Тип почвогрунта	Плотность (г/см <sup>3</sup> )	Пористость	Кислотность (значения pH)	Наличие карбонатов
Бензин	1,35	0,33	слабощелочная	отсутствуют
Дизельное топливо	1,28	0,23	слабощелочная	отсутствуют
Машинное масло	1,10	0,28	слабощелочная	отсутствуют
Контроль	1,44	0,32	слабощелочная	отсутствуют

Показатель плотности варьирует от 1,10 (г/см<sup>3</sup>) до 1,44 (г/см<sup>3</sup>) Показатель пористости (доля) имеет значение от 0,23 до 0,32. Плотность и пористость при загрязнении уменьшаются. Кислотность всех образцов слабощелочная и не зависит от углеводородных загрязнений. Карбонаты отсутствуют.

4. Результаты проращивания тест-растений до проведения эксперимента по выращиванию гороха (дата посадки 10.01.2025 г.) представлены в таблице № 5.

Таблица №5.

Всхожесть и энергия прорастания микрозелени (опыт №1)

Тип почвогрунта	Амарант				Шпинат			
	Всхожесть Шт %		Энергия прорастания %		Всхожесть %		Энергия прорастания %	
	7 сутки		3 сутки		7 сутки		3 сутки	
Бензин	31	62	29	58	39	78	27	54
Дизельное топливо	28	56	18	36	31	62	19	38
Машинное масло	30	60	15	30	33	66	23	46

Контроль	50	100	50	100	49	100	49	100



Рис.5. Всхожесть и энергия прорастания микрозелени (опыт №1)

Наибольшая всхожесть у амаранта (62%), и шпината (78%) на почве, загрязненной бензином. Наименьшая на почве, загрязненной дизельным топливом (56% и 36%). По энергии прорастания семян наименьший показатель по дизельному топливу у шпината (38%), по машинному маслу у амаранта (30%).

Таблица №6.

Средняя длина проростков микрозелени на 7 сутки в миллиметрах

Тип почвогрунта	Амарант			Шпинат		
	Min (мм)	Max	Среднее μ.	Min	Max	Среднее μ.
Бензин	28	32	30	36	39	37,5
Дизельное топливо	25	28	26,5	23	34	28,5
Машинное масло	27	30	28,5	31	41	36
Контроль	47	51	49	54	59	56,5

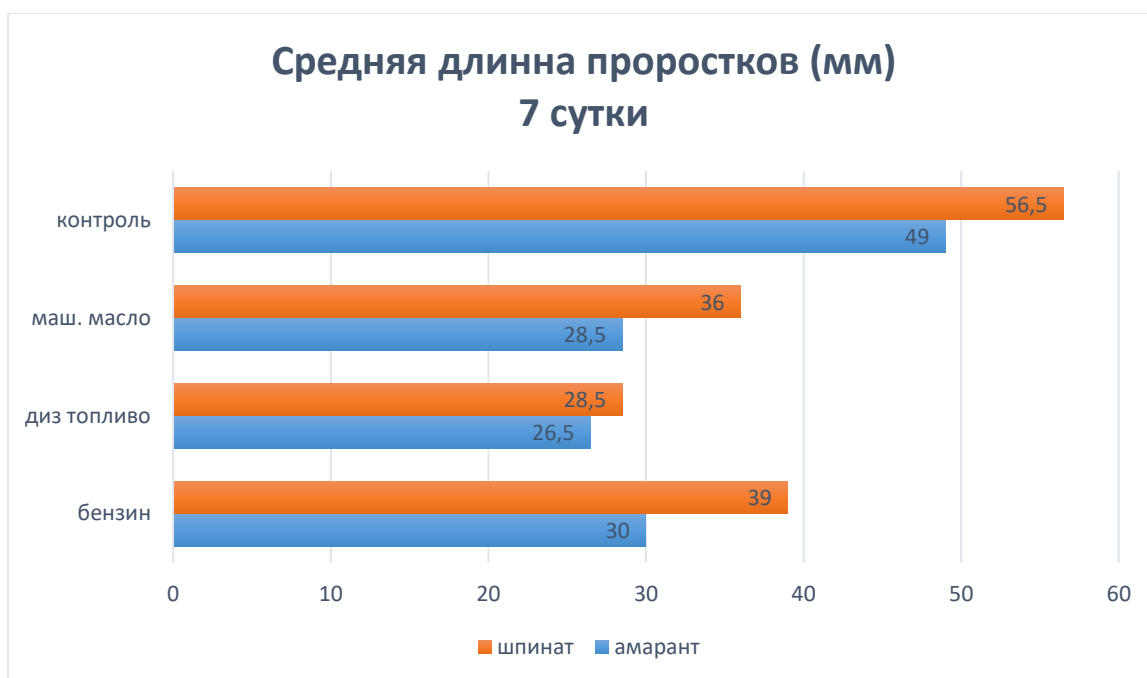


Рис.6. Средняя длина проростков шпината и амаранта на 7 сутки

Наибольшая средняя длина проростков наблюдалась у шпината, произрастающего на почве, загрязненном бензином (39 мм.). Наименьшая на почве загрязненном дизельным топливом (28,5). Наибольшая средняя длина проростков амаранта, так же, как и у шпината наблюдалась на почве, загрязненном бензином (30 мм.). Наименьшая на почве загрязненном дизельным топливом (26,5).

При проращивании тест - растений нами были получены не однозначные результаты. При посадке и амаранта и шпината семена довольно быстро и дружно начинали прорастать во всех чашках Петри. Но на 8-9 дни проростки погибали. Сначала мы связали это с некачественным проведением эксперимента (забыли полить). Мы провели несколько опытов, а результат оставался тем же. Предполагаем это связано с тем, что загрязняющие вещества большее влияние оказывали не на семена, а именно на проростки.

#### 5. Эксперимент по выращиванию гороха на загрязненных образцах почв.

Таблица №7.

Результаты проращивания гороха в загрязненных почвах.

Дата посадки 18.01.2025 г.

Тип почвогрунта		Всхожесть. 7 сутки	
		Кол-во	%
Бензин	1 повторность	0	0
	2 повторность	1	20
	3 повторность	0	0
Дизельное топливо	1 повторность	0	0
	2 повторность	0	0

	3 повторность	1	20
Машинное масло	1 повторность	3	60
	2 повторность	3	60
	3 повторность	3	60
Контроль	1 повторность	4	80
	2 повторность	5	100
	3 повторность	5	100

Всхожесть гороха на загрязнённом грунте бензином и дизельном топливом составило 20%. Это низкий, но ожидаемый результат. А вот загрязнение машинным маслом меньше повлияло на всхожесть (60%). В результате заполнения пор нефтяными загрязнителями, песок становится более агрегированным. Происходит уменьшение порового пространства, при этом загрязнитель вытесняет из грунта воздух и воду. Поверхность минеральных частиц гидрофобизируется. Инфильтрация (процесс проникновения влаги в почву при её неполном насыщении водой) резко снижается. В результате теряется способность впитывать и удерживать влагу. Мы предположили, что процесс гидрофобизации почвогрунта при загрязнении машинным маслом идет медленнее в связи с вязкостью загрязнителя. Данное предположение требует дальнейшего изучения.



Рис.7. Всхожесть гороха посевного в почве, загрязненной машинным маслом



Рис.8. Всхожесть гороха посевного в почве, загрязненной дизельным топливом



Рис.9 Всхожесть гороха посевного в почве, загрязненной бензином

6. Результаты проращивания тест-растений после проведения эксперимента по выращиванию гороха (дата посадки 31.01.2025 г.) представлены в таблице №8.

Таблица №8.

## Всхожесть и энергия прорастания микрозелени (опыт №2)

Тип почвогрунта	Амарант				Шпинат			
	Всхожесть		Энергия прорастания		Всхожесть		Энергия прорастания	
	Шт	%	%	%	%	%	%	%
	7 сутки		3 сутки		7 сутки		3 сутки	
Почва, загрязненная машинным маслом после произрастания гороха посевного (экспериментальная)	29	<b>64</b>	17	<b>35</b>	30	<b>60</b>	21	<b>45</b>



Рис.10 Всхожесть и энергия прорастания микрозелени (опыт №2)

Сравнение показателей всхожести и энергии прорастания тест-растений амаранта и шпината в опыте №1 (перед посадкой и проращиванием гороха) и в опыте №2 (после 10 дней роста и жизнедеятельности гороха) не показало существенных изменений. Показатели амаранта немного увеличились, а шпината уменьшились. Мы пришли к тому, что считать полученные результаты достоверными и делать выводы об использовании растения гороха посевного как биоремедиатора на данном этапе нельзя. Необходимо больше времени выращивать горох. Поэтому планируем продолжить экспериментальную работу.

## **Заключение**

Данная проектная работа является частью большого проекта «Петрофизика», состоящего из нескольких частей.

Целью первой части работы являлось изучение свойств плотности, пористости и проницаемости песчаных горных пород и изменение этих свойств под действием загрязняющих веществ. В результате экспериментальным путем было доказано, что при загрязнении грунта углеводородами пористость и проницаемость уменьшаются, что неблагоприятно сказывается на экосистеме. воздух и воду.

Вторую часть исследования по рекультивации загрязненных грунтов в лабораторных условиях мы спланировали и провели с применением методов фиторемедиации.

В результате проведения экспериментов мы доказали, что разные загрязнители, относящиеся к группе углеводородов, по-разному влияют на петрофизические свойства почв, всхожесть и энергию прорастания семян. Самым токсичным загрязнителем оказалось дизельное топливо.

Перед началом работы мы выдвинули следующую гипотезу: «Свойства загрязненных углеводородами почвенных грунтов под действием растений улучшаются. Горох посевной можно использовать как растение реамедиант». В ходе исследований мы получили много интересных фактов, которые необходимо проанализировать, обсудить, многократно перепроверить. На данном этапе сказать о подтверждении или об опровержении выдвинутой нами гипотезы нельзя. Необходимо продолжать исследования.

## **Выводы**

1. Растения - реамедианты широко используются при восстановлении почв после углеводородных загрязнений. Их применение зависит от типа почв и степени загрязнения.

2. Растение горох посевной можно использовать как реамедиант на местных почвах, выщелоченных черноземах (требует доработки).

## **Благодарности**

Выражаю благодарность своему научному руководителю Новиковой Галине Михайловне за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по оформлению проекта.

Также очень благодарна своим друзьям по команде школьного проекта «Петрофизика», которые поддерживали меня несколько недель, пока шла работа над исследованием.

### Список использованных источников информации

1. Гакаев, Р.А. Биоэкологические особенности реабилитации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / Р.А. Гакаев. — Текст: непосредственный // Биоэкономика и экобиополитика. — 2016. — № 1 (2). — С. 216-218. — URL: <https://moluch.ru/th/7/archive/26/1214/> (дата обращения: 31.01.2025). [Электронный ресурс]
2. Григорьева И.Ю. Можно ли добиться эффективной очистки нефтезагрязненных песков с помощью растений и почему? / И.Ю.Григорьева. — Текст: Геоинфо. - 2019[Электронный ресурс] [Электронный ресурс] <https://geoinfo.ru/product/grigoreva-iyu-yurevna/mozhno-li-dobitsya-ehffektivnoj-ochistki-neftezagryaznennyh-peskov-s-pomoshchyu-rastenij-i-pochemu-39705.shtml>
3. Демельханов, М.Д. Агротехнические мероприятия и их роль в восстановлении нефтезагрязненных почв / М.Д. Демельханов, Р.С. Косумов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 24 (104). — С. 308-311. — URL: <https://moluch.ru/archive/104/24727/> (дата обращения: 31.01.2025). [Электронный ресурс]
4. Загрязнение нефтепродуктами песчаных грунтов различного гранулометрического состава и промывка их водой. Желвакова Е.А. [Электронный ресурс] <https://www.dissercat.com/content/zagryaznenie-nefteproduktami>
5. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами. Текст научной статьи по специальности «Экологические биотехнологии». Киреева Наиля Ахняфовна. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011 [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/podbor-rasteniy-dlya-fitoremediatsii>
6. Петрофизика – свойства горных пород. Методические указания к практическим занятиям. Новосибирск, 2021 г.
7. Сааева, Х.А. Комплексное воздействие растительности на улучшении почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / Х.А. Сааева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 20 (100). — С. 159-163. — [Электронный ресурс] URL: <https://moluch.ru/archive/100/22708/>
8. Фиторемедиация загрязненных нефтью почв в условиях северо-западного кавказа Специальность 06.01.03 – агропочвоведение, агрофизика. ШВЕЦ Александр Александрович, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук Краснодар – 2009 [Электронный ресурс] <https://kubsau.ru/upload/iblock/90b/90b59452bc23fd84ae681cfb29e9fa74.pdf>

## Приложение



### Таблица 1 - Основные способы очистки почв от нефтезагрязнений

Метод	Способы	Характеристика	Достоинства и недостатки
1	2	3	4
Механический	Откачка нефти	Осуществляется насосами	Длительные дорогостоящие процессы. Применяются при крупных разливах для поверхностной очистки почв, не решают проблему очистки почв при проникновении загрязнения на глубину [46]
	Замена почв	Осуществляется сгребание почв спец. техникой (тракторы, экскаваторы, бульдозеры), после она направляется на полигоны отходов	
	Сжигание	Значительные количества загрязнителей попадают в атмосферу	
Химический	Осаждение	Посредством введения хим. Реагентов, в результате почвенные загрязнители переходят в менее токсичные и подвижные формы [38]	Образующиеся соединения легко разлагаются в грунтовых водах, выносятся ими в водоемы и загрязняют их [2
	Окисление		
	Восстановление		
	Замещение		
	Комплексообразование		
Физико-химические	Промывка	Осуществляется в промывных барабанах при	


1	2	3	4
		помощи моющих агентов, после отправляется на отстаивание	
	Экстракция	Разделение жидких смесей при помощи подходящего растворителя (экстрагента)	«+» Простота оборудования, низкие температуры процесса. «-» Трудности в удалении экстрагента [6]
	Сорбция	Основана на способности некоторых веществ поглощать нефтезагрязнения при разливах на небольших площадях (преимущественно твердых поверхностях)	
Биологические	Биоремедиация	При помощи микроорганизмов биодеструкторов, сопровождается их помещением в почву периодической подкормкой и увлажнением	Экономичность, экологичность, доступность, безопасность
	Фиторемедиация	При помощи растений, способных аккумулировать нефтезагрязнения и активизировать деятельность микроорганизмов	



**Таблица 5 – Фиторемедианты, способные к очистке почв от нефти и нефтепродуктов**

Название	Характеристика	Функции	Внешний вид
1	2	3	4
<p>Житня́ к ширококолосый (<i>Agropyron rectiniforme</i> Rоem. et Schult.)</p>	<p>Семейство мятликовые (Poaceae) Многолетнее травянистое растение, не требователен к почвам.</p>	<p>Поглощаемые УВ: Хризен, бенз(а)пирен, бенз(а)антрацен, дибенз(а,h)антрацен</p>	
<p>Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>)</p>	<p>Травянистое растение, устойчиво к холодному климату</p>	<p>Способна очищать почвы от нефти, дизеля.</p>	

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
<p>Просо посевное (<i>Panicum miliaceum</i>)</p>	<p>Травянистое растение, устойчиво к засухе</p>	<p>Очистка от антрацена, пирена</p>	
<p>Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i>)</p>	<p>Цветковое растение, неприхотливое к условиям</p>	<p>Широкий спектр, очищаемых УВ алканы, пристан, гексадекан, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен</p>	
<p>Семейство бобовые (<i>Fabaceae</i>)</p>			

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
<p>Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i>)</p>	<p>Травянистое растение, мощная корневая система и ее глубокое проникновение в почву</p>	<p>Способна к очистке Бензола, антрацена, пирена, нафталина</p>	
<p>Люпин многолистный (<i>Lupinus polyphyllus</i>)</p>	<p>Накапливает необходимую биомассу и аккумулирует большое количество питательных веществ.</p>	<p>Очистка почв от нефти</p>	
<p>Соя культурная (<i>Glycine max</i>)</p>	<p>Травянистое растение, невысокие стебли, характеризуется высокой всхожестью.</p>	<p>Очистка почв от антрацена</p>	
<p>Семейство ивовые (<i>Salicaceae</i>)</p>			

**Продолжение таблицы 5**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
Тополь дрожащий ( <i>Populus tremula</i> )	Неприхотлив к типу почв, предохраняет почвы от эрозии.	Очистка от Бензола, толуола, о-ксилол	