

**ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА  
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ОКРУГА МАКЕЕВКА  
МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СТАНЦИЯ ЮНЫХ НАТУРАЛИСТОВ ГОРОДА МАКЕЕВКИ»**

**ТЕХНОГЕННЫЕ ГРУНТЫ ТЕРРИКОНОВ ГОРОДСКОГО ОКРУГА  
МАКЕЕВКА КАК СРЕДА ОБИТАНИЯ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ-  
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ БИОРЕМЕДИАТОРОВ**

Выполнили:

Жмелюк Ксения Анатольевна, 9 класс

Харенко Евгений Алексеевич, 9 класс  
обучающиеся кружка «Юные ученые»

МБУДО «СЮН»

научный руководитель – Федорчук Анна  
Михайловна, педагог дополнительного  
образования МБУДО «СЮН»

**Макеевка, 2025 г.**

## Оглавление

Введение.....	3
1. Обзор литературы.....	5
1.1. Характеристика района исследования и экологической обстановки.....	5
1.2. Характеристика терриконов г.Макеевки.....	5
1.3. Перспективы использования микробиома угольных отвалов для восстановления почв.....	7
2. Материалы и методы.....	8
2.1. Отбор и подготовка пробных образцов почвы.....	8
2.2. Методика гранулометрического анализа грунтов.....	10
2.3. Методика приготовления водной вытяжки проб грунта.....	11
2.4. Методика измерения физико-химических показателей водной вытяжки грунтов с помощью мультидатчика 7 в 1.....	11
2.5. Методика определения содержания органических веществ в почве полуколичественным методом.....	13
2.6. Определение содержания растворенных веществ в почве с помощью тест-полосок .....	13
2.7. Микробиологические методы исследования грунтов.....	14
3. Результаты и обсуждение.....	15
3.1. Гранулометрический состав техногенных грунтов исследованных терриконов.....	15
3.2. Физико-химические показатели грунтов с исследованных терриконов	17
3.3. Содержание органических веществ в грунтах исследованных терриконов.....	20
3.4. Результаты анализа водных вытяжек грунтов с помощью тест- полосок.....	21
3.5. Результаты микробиологического анализа исследованных грунтов.....	22
Выводы.....	25
Заключение.....	25
Список использованных источников.....	26
Приложение 1. Терриконы – места отбора проб грунтов.....	27
Приложение 2. Фотоматериалы к анализу состава и свойств грунтов.....	31
Приложение 3. Разнообразие типов колоний бактерий из исследованных грунтов.....	36

## Введение

Данная исследовательская работа проведена в рамках проекта «Биоремедиация будущего: поиск микроорганизмов для очистки окружающей среды» Всероссийской образовательной инициативы по поиску и реализации научно-образовательных проектов «Сириус Лето: начни свой проект», к которому присоединилась команда МБУДО «СЮН». Основная цель проекта – выявить и охарактеризовать микроорганизмы с биоремедиационным потенциалом из загрязненных территорий для создания эффективных биологических систем очистки окружающей среды.

Биоремедиация - это очистка окружающей среды с помощью живых микроорганизмов - бактерий, грибов, растений. Эти живые «лаборатории» способны преобразовывать среду, в которой обитают.

Биоремедиация, основанная на использовании живых организмов для деградации загрязняющих веществ, представляет собой перспективную альтернативу физическим и химическим методам очистки, которые используются в настоящее время. Микроорганизмы, обладающие специфическими ферментативными системами, способны:

- осуществлять биоаккумуляцию и биотрансформацию тяжелых металлов
- восстанавливать структуру почвенных экосистем после техногенных нарушений
- функционировать в экстремальных условиях, недоступных для других методов очистки.

Такие полезные свойства микроорганизмы приобретают, приспособившись к неблагоприятным условиям в местах обитания. Соответственно, наиболее перспективными местами поиска бактерий с указанными свойствами являются техногенно измененные территории, такие как породные отвалы, территории промышленных предприятий, полигоны ТБО и т.п [1].

Наша команда из Донбасса, шахтерского края, поставила перед собой *цель* выявить штаммы бактерий из почв породных отвалов угольных шахт г.Макеевка, ДНР, обладающие металлоустойчивостью и способностью разлагать ароматические углеводороды для биоремедиации загрязненных почв региона.

Для достижения этой цели первостепенными задачами стало проведение отбора и анализа образцов почв с породных отвалов угледобывающих предприятий (терриконов) города Макеевки, выбор перспективных колоний для дальнейшего тестирования. При изучении литературы мы выяснили, что терриконы являются объектом пристального внимания ученых – геологов, ботаников, экологов – как объекты для рекультивации и повторного использования, но, при этом, отсутствует достаточное количество информации о микробиоте этих объектов. Кроме того, мы выяснили, что каждый террикон является уникальным объектом из-за состава пород, микроклиматических условий, водного режима и прочих факторов.

Поскольку наша цель – найти почвенные бактерии со свойствами, помогающими им выживать в экстремальных условиях и в почвах с загрязнителями, типичными для региона, необходимо было выяснить, на каких именно участках местных терриконов создаются такие условия. В настоящее время существуют приспособления для экспресс-определения различных показателей почвенных

вытяжек. Быстрая проверка грунта способна помочь в поиске перспективных мест отбора проб.

Таким образом, была определена **цель исследования**: оценить с помощью экспресс-методов свойства грунтов на терриконах с разными условиями и выявить их связь с численностью почвенных бактерий в техногенных грунтах.

Для достижения цели нужно было решить следующие **задачи**:

1. Провести экспресс-анализ техногенных грунтов угольных отвалов на территории города по характеристикам, значимым для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

2. Провести первичный тестовый посев для определения общей численности бактерий в грунтах разных терриконов.

3. Проанализировать связь между характеристиками грунта и количественными характеристика микробных консорциумов в них.

4. Определить, какие экспресс-методы анализа почв наиболее эффективны для поиска мест обитания бактерий-биоремедиаторов.

#### **Актуальность исследования**

Терриконы угольных шахт – это не только источники постоянного воздействия на окружающую среду: они выделяют токсичные соединения, засоляют и окисляют прилегающие почвы. При этом микробиологический потенциал этих объектов практически не изучен. Почвенные микроорганизмы терриконов могут стать основой для биоремедиации - экологически безопасного и экономически выгодного метода очистки. Выявление металлорезистентных бактерий из техногенных грунтов позволит заложить базу для разработки локальных биотехнологий восстановления земель, нарушенных хозяйственной и промышленной деятельностью.

#### **Практическая значимость**

Результаты исследования имеют прямую прикладную ценность, определение ключевых физико-химических параметров грунта, коррелирующих с обилием целевых микроорганизмов, позволит упростить поиск перспективных участков для отбора проб. Это сократит затраты времени и ресурсов при реализации проекта

**Объект исследования**: техногенные грунты терриконов городского округа Макеевка.

**Предмет исследования**: взаимосвязь свойств техногенных грунтов с численностью и распределением почвенных бактерий.

**Время и место проведения исследований**: исследования проводились в октябре-декабре 2025 г. Сбор проб производили в Центрально-Городском и Горняцком районах города Макеевки в октябре-ноябре 2025 г. Камеральная обработка и исследование образцов проводили в ноябре-декабре на базе МБУДО «СЮН».

## **1. Обзор литературы**

### **1.1. Характеристика района исследования и экологической обстановки**

Городской округ Макеевка (Донецкая Народная Республика), находится в степной зоне на Донецком кряже. Территория входит в состав Донецкого каменноугольного бассейна, причем в так называемый Старый Донбасс: активное строительство шахт и выработка каменного угля подземным способом началась еще в XIX веке (шахты «Иван», «Мария», «Калиновская», «Берестовка» и др. - отвалы этих шахт сохранились в центральной части города). В городе более 120 больших терриконов, и много небольших, оставшихся после закрытия мелких шахт. Климат – умеренно-континентальный с жарким засушливым летом и малоснежной, морозной, но не долгой зимой. Рельеф степной, равнинный [6]. Типичные грунты местности – черноземы обыкновенные среднегумусовые. Это минеральные суглинистые грунты с высоким уровнем гумуса и высоким плодородием.

Земельный фонд города Макеевки составляет 42,565 тыс. га. Наибольшую площадь занимают земли сельскохозяйственных угодий – 22,868 тыс. га (53,7 %).

Земли промышленности на территории города занимают 5,0003 тыс. га (11,7 %), а земли жилой застройки занимают 1,517 тыс. га (3,6 %)/ Земельные ресурсы используются промышленными предприятиями для хранения отходов. Угольная, угольно-обогащительная, металлургическая и коксохимическая промышленность являются основными источниками образования отходов в городе. [2]

Производственная деятельность горнодобывающих предприятий вызывает многообразные количественные и качественные изменения земель:

- сокращение площадей сельскохозяйственных угодий, в связи с их изъятием и нарушением, эрозия и минерализация почв;
- разрушение почвенной структуры;
- засоление, подтопление и заболачивание.

К неблагоприятным воздействиям шахты на земельные ресурсы относятся:

- загрязнение земель отходами, выбросами газообразных веществ, сбросами высокоминерализованных шахтных вод;
- использование земель под шахтную инфраструктуру;
- деформации земной поверхности [2].

Более половины предприятий - загрязнителей атмосферного воздуха города-горнопромышленные и связанные с ними предприятия, которые выбрасывают в атмосферу более 13 тыс. тонн выбросов (данные 2024 г). [14].

### **1.2. Характеристика терриконов г.Макеевки**

Основным типом техногенной трансформации территории города являются различные типы складирования отходов добычи угля: конические (терриконы), переформированные (терриконы со срезанной конической вершущкой для уменьшения эрозии склонов и больших объемов стоков) и плоские породные отвалы, в том числе действующие, рекультивированные и заброшенные. В основном встречаются конические отвалы шириной 200-300 м, но есть и большие комплексы отвалов протяженностью более километра [6].



Рис. 1. Техногенный ландшафт города Макеевка с отвалами породы горнопромышленных предприятий (терриконами)

Терриконы угольных шахт — техногенные образования, заметно меняющие ландшафт и ухудшающие экологическую обстановку. Внутри них непрерывно идут физические и химические процессы, влияющие на окружающую среду. В Макеевке более 100 терриконов, половина из которых эксплуатируется [15].

Основу терриконов составляют обломки осадочных пород: аргиллиты (в том числе алевритистые и углистые) и алевролиты — глинистые породы; песчаники; углистый материал и изредка — обломки известняка. В этих породах встречаются сульфиды железа (пирит, марказит) и множество других. Часть соединений не встречается нигде, кроме терриконов — они образуются в процессе горения, то есть высокотемпературного преобразования уже сложившегося террикона [5].

По химическому составу породы содержат важные компоненты: кремнезём, глинозём, оксиды кальция, магния, железа, натрия, калия, титана, а также воду, углерод и серу. Соотношение этих элементов довольно стабильно, и даже небольшие изменения могут серьёзно повлиять на минеральный состав пород.

Особую опасность представляют горелые и спекшиеся породы. В них много окислов и гидроокислов железа (особенно гематита), а также окислов калия, фосфора и серы. Например, в горелом тонштейне содержание глинозёма доходит до 43,8 %, но при этом снижены концентрации оксидов калия, серы и фтора.

Во многих породах уровень токсичных элементов многократно превышает допустимые нормы. В аргиллитах повышены концентрации германия, ртути, тория, хрома, меди, цезия и свинца. В алевролитах — висмута, ртути, хрома, мышьяка, тория, свинца, германия и цинка. В песчаниках — сурьмы, олова, бария, меди и селена.

Терриконы загрязняют окружающую среду. В поверхностных и подземных водах растёт содержание сульфатов и токсичных веществ: минерализация превышает 2 г/л, жёсткость — 15 мг-экв/л. Под отвалами «законсервированы» десятки и сотни гектаров плодородных черноземов., утративших природные функции. Рядом с терриконами растительность развивается хуже: в 200-метровой зоне растений почти нет, в 500-метровой -они угнетены [4].

Главные причины загрязнения - окисление сульфидов (с образованием серной кислоты), горение отвалов, а также перенос вредных веществ: газов и пыли по воздуху, радионуклидов и тяжёлых металлов — с водой. Основными загрязняющими веществами породных отвалов городского округа Макеевки являются свинец и никель [16].

Заращение терриконов идёт поэтапно. Сначала появляются нитрифицирующие бактерии и однолетние растения (резеда жёлтая, курай русский, спорыш обыкновенный). Затем формируются группы растений с покрытием 15–20 %. Позже разнообразие видов расширяется (донник жёлтый, гречка березковидная, василёк растопыренный и др.), покрытие достигает 20–25 %. На последней стадии растительность приближается к природной: появляются мхи, грибы и множество травянистых растений [10].

В терриконах идут два типа выветривания. Физическое вызвано перепадами температуры, водой и ветром: плотность пород снижается с 2,5–2,6 г/см<sup>3</sup> до 1,5 г/см<sup>3</sup>, пористость растёт до 40–50 %. Химическое основано на реакциях окисления: главный окислитель — молекулярный кислород, дополнительные — ионы Fe<sup>3+</sup> и S<sup>6+</sup>. При этом возникают окислительно-восстановительные системы (Fe<sup>3+</sup> ↔ Fe<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ↔ H<sub>2</sub>S).

Важную роль играют бактерии *Thiobacillus ferrooxidans*. Они ускоряют разрушение пирита в кислой среде, окисляют серу, поддерживая низкий pH, и мешают образованию новых отложений на поверхности пирита [4].

В системе террикона выделяют три типа миграции элементов. Механическая связана с формой и крутизной склонов — происходит смыв породы. Физико-химическая включает растворение веществ, обменные реакции, гидролиз и десорбцию. Биогенная заключается в поглощении мигрирующих элементов растениями, грибами и прочими организмами.

Таким образом, терриконы — сложные системы, где активно идут физические, химические и биологические процессы. Они загрязняют воду и почву, угнетают растительность и создают особые условия для микроорганизмов. Изучение этих процессов необходимо, чтобы разработать меры по восстановлению нарушенных земель и снижению экологической нагрузки на регион [5].

### **1.3. Перспективы использования микробиома угольных отвалов для восстановления почв**

В обзорной статье «Перспективы использования микробиома почв угольных отвалов с целью ремедиации антропогенно нарушенных экосистем» авторы акцентируют внимание на острой необходимости биоремедиации почв на территориях Российской Федерации, где зафиксированы высокие уровни техногенного загрязнения [13]. В работе проведён детальный анализ зарубежных исследований, посвящённых изучению уникальных свойств микроорганизмов из угольных отвалов — их металлоустойчивости, способности обезвреживать тяжёлые металлы и разлагать полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В качестве примеров приведены результаты исследований на территориях Индии и Африки, демонстрирующие потенциал таких бактерий в условиях экстремального загрязнения.

Почвы угольных отвалов представляют собой крайне агрессивную среду для живых организмов. Они характеризуются кислым или слабокислым уровнем pH, аномально высоким содержанием тяжёлых металлов и ПАУ, а также крайне неравномерным

уровнем органического вещества — от критически низкого до чрезвычайно высокого. Структура таких почв существенно нарушена, что создаёт экстремальные условия для выживания микроорганизмов. Однако именно в этих условиях формируется уникальный микробиом, обладающий особыми адаптивными свойствами [13].

Исследователи подчёркивают, что микробиом почв угольных отвалов может стать основой для ремедиации техногенных ландшафтов. Микроорганизмы, обитающие в таких условиях, выработали устойчивость к экстремальным концентрациям тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cr, As, Ni, Fe, Mn) и органических загрязнителей (ПАУ, нефтепродукты). Более того, они способны не просто выживать в токсичной среде, но и активно утилизировать опасные соединения. Например, бактерии родов *Bacillus* и *Pseudomonas aeruginosa* демонстрируют высокую эффективность в разрушении нефтезагрязнений, преобразуя их в менее токсичные соединения [13].

Экспериментальные данные подтверждают устойчивость отдельных штаммов бактерий к тяжёлым металлам. Так, бактерии *Enterobacter* проявляют толерантность к меди, железу, свинцу и марганцу; *Arthrobacter* и *Sinomonas* устойчивы к никелю; отдельные штаммы *Bacillus* — к меди, а *Bacillus albus* и некоторые другие виды — к хрому. Эта уникальная способность открывает возможности для поэтапной очистки загрязнённых почв: сначала происходит связывание и иммобилизация металлов, затем — биохимическая трансформация токсичных форм в малоопасные соединения. При этом эффективность биоремедиации во многом определяется физико-химическими параметрами среды. Ключевым фактором выступает уровень pH: слабощелочная среда благоприятствует развитию бактериальных сообществ, тогда как сильноокислая (в диапазоне pH 3,5–4,4) существенно ограничивает их разнообразие и активность. Не менее важны и другие параметры — температура, влажность, степень аэрации и содержание органического вещества в почве. Для достижения максимального эффекта необходимо тщательно контролировать эти показатели, создавая оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Только при грамотном управлении этими факторами можно рассчитывать на успешное восстановление загрязнённых территорий с помощью биоремедиационных технологий [13].

## **2. Материалы и методы**

### **2.1. Отбор и подготовка пробных образцов почвы**

Место сбора проб: 4 террикона: 2 террикона в Центрально-Городском районе, пос. Старо-Калиново и 2 террикона в Горняцком районе г. Макеевка, ДНР. Фотографии терриконов, спутниковые снимки (источник – Яндекс-карты), координаты, карты высот (источник-[ru-ru.topographic-map.com](http://ru-ru.topographic-map.com)), координаты и фотографии мест отбора проб приведены в Приложении 1.

Для отбора образцов техногенного грунта выбрали небольшие терриконы в городской черте — рядом с шахтёрскими посёлками и одноэтажной жилой застройкой. Вокруг терриконов установлены санитарные зоны до 500 м, однако вплотную к ним примыкают жилые дома с обрабатываемыми приусадебными участками. Поскольку главная задача проекта — поиск бактерий, способных выживать в неблагоприятных условиях, для отбора проб выбрали терриконы с минимальным растительным покровом. На этих терриконах отбирали пробы в местах с явными признаками действия неблагоприятных факторов.

Описания мест сбора приведены в таблице 1. В каждой точке брали 3 пробы на расстоянии 2-5 м с однотипной поверхности, в поверхностном слое до 7 см. Пробы смешивались, смешанной пробе присваивали номер, объем пробы – 350-500 г. Всего было взято 14 проб – 11 с терриконов (на максимально возможной высоте по склону, ниже по склону, у подножия), 3 - контрольные образцы фоновых почв в окрестностях исследованных терриконов. Для расположенных рядом терриконов в Центрально-Городском районе использовали 1 контрольный образец.)

Таблица 1.  
Описание места отбора проб

№ п/п	Условное обозначение	Описание	Признаки экологического неблагополучия, места отбора проб, глубина отбора
1	«Террикон 1»	Террикон небольшой, до 25 м, в прошлом рекультивирован (посадки древесных культур – дуба черешчатого и робинии), переформирован («срезана» верхушка). Не террасирован. На склоне северо-западной экспозиции есть голая, лишённая растительности часть с промоинами. Занимает приблизительно 20 % поверхности террикона	Участок, лишенный растительности на рекультивированном терриконе. На участке есть промоины, цвет грунта черный, есть осязательная корка. Место отбора пробна голой части: №1: 15 м по склону северо-западной экспозиции от подножия, 5 см №2: 10 м по склону, 5 см №3: у подножия. Редкая растительность – пижма, небольшое количество злаковых, 5-7 см.
2	«Террикон 2»	Маленький террикон, конический, высотой до 10 м, Светло-бурого цвета (цвета желтой глины). Расположен примерно в километре от «Террикона 1»	Практически лишен растительности, есть промоины. У подножия - редкая травянистая растительность, льнянка, осот, пижма, спорыш, редкие кустарники – шиповник, малина/ежевика (менее 1 экз/м). Склоны рыхлые, порода подвижная. Место отбора проб: №4 – на голой части, 5 см № 5 – у подножия в овражке, в который ведет промоина – 5-10 см, грунт очень рыхлый, несмотря на растительность.
3	«Террикон 3»	Относительно высокий (~ 30 м), большой по площади террикон в Горняцком районе. Террикон находится в месте старых выработок. Отвал переформированный. Сейчас рядом находится шахта Горняк 95. Вершина плоская, террикон зарос древесной растительностью с на склоне северной и северо-восточной экспозиции	Несмотря на возраст, склон юго-западной экспозиции очень слабо покрыт растительностью – древесные растения и кустарники на склоне одиночные, также одиночные травянистые растения. Цвет грунта серый. Явных промоин не заметно. Места отбора проб: № 8 на склоне юго-западной экспозиции, практически у вершины, 5 см №7 - на середине склона, 5-7 см № 9 – у подножия, 5-7 см

4	«Террикон 4»	Относительно высокий (~ 30 м), большой по площади террикон в Горняцком районе. Отвал в 2 вершинами и площадкой. Покрыт редкой древесной растительностью по склонам, у подножия растительности практически нет	Террикон в прошлом горел, окраска поверхности – красно-розово-оранжевых тонов, у подножия много осколков спекшейся породы, склон южной и юго-западной экспозиции практически лишен растительности. Около второй вершины грунт черно-розовой окраски, с коркой. Явных промоин нет. Места сбора проб - № 12- 15 м по склону, на черной части, 5 см № 11- 10 м по склону, на красной части, 5 см № 13 – у подножия под обломком спекшейся породы, 5 см
5	Фоновые почвы	Контрольные пробы фоновых грунтов на местности. Взяты на предположительно чистых участках поблизости от терриконов, вдали от жилья, автомобильных дорог, линий электропередач, свалок	Контроль 1 (для терриконов 1 и 2 ) 200 м от терриконов, недалеко от частной застройки, на границе поляны и зарослей облепихи. Проба №6 Контроль 2 (для «Террикон 3») – 500 м от террикона, за рекой, под тополем, проба № 10 Контроль 3 (для террикона 4) – 600 м от террикона, на опушке посадки из лиственных деревьев. Проба № 14

Пробы высушили до воздушно-сухого состояния, сушку производили в течение 10 дней. Для этого небольшое количество почвы тонким слоем разложили на листах бумаги и сушили в теплом сухом помещении. После этого пробы уложили в бумажные пакеты.

## 2.2. Методика гранулометрического анализа грунтов

Гранулометрический анализ проводили сухим способом, пересевая каждую пробу частями на системе почвенных сит с ячейками 10 мм, 5 мм, 2 мм; 1 мм; 0,5 мм; 0,25 мм; 0,1 мм и менее 0,1 мм (см. Приложение 2). Каждую фракцию взвесили и сложили в zip-пакеты для хранения. Данные о % соотношении скелетной фракции (10-1 мм) и фракций мелкозема - (0,5-0,25 мм); (0,25-0,1 мм + < 0,1 мм) занесли в таблицу, поскольку именно они определяют пригодность техногенных грунтов для

роста растений и почвенных микроорганизмов [10]. Цвет образцов описывали словесно, потому что он сильно отличается от цвета естественных грунтов.

### 2.3. Методика приготовления водной вытяжки проб грунта

Водная вытяжка из почвы — это фильтрат водного раствора, полученного после взбалтывания почвы с дистиллированной водой. Отношение массы пробы почвы и воды 1:5, как необходимо для грунтов с массовой долей органического вещества до 30%.

Для приготовления водной вытяжки отобрали образцы методом квартования — каждую пробу делили на 4 секции, 2 по диагонали убирали, оставшиеся смешивали и так повторяли несколько раз.


После квартования фракций 2-0,5 воздушно-сухой почвы на технохимических весах сделали ее навеску 10 г (сразу в контейнере), прилили к ней 50 мл дистиллированной воды и активно взбалтывали 3 мин, после чего пропустили через бумажный складчатый фильтр. Фильтровали, сменяя фильтры, по получения максимально прозрачной жидкости [7].

### 2.4. Методика измерения физико-химических показателей водной вытяжки грунтов с помощью мультидатчика 7 в 1

Портативные мультидатчики используются для проверки качества воды, а также оценки параметров питательных растворов для гидропонных систем выращивания. Перед началом работы мы проверили его работу на калибровочных растворах (рН 4.01 рН 6.18. рН 9). Между измерениями электроды были погружены в 0.01 м KCL, промывались в дистиллированной воде. Во время работы также периодически проверяли показания, погружая датчик в калибровочные растворы. Датчик измеряет кондуктометрические и потенциометрические показатели, которые используются как при характеристике природных вод, так и водных вытяжек почв.

Таблица 2.

Показатели мультидатчика (кондуктомер-потенциометр) для определения качества водных растворов

	Показатели, единицы измерения	Расшифровка
	ЕС, $\mu\text{S}/\text{cm}$ (мкСм/см) электропроводность	Электропроводность раствора, Единицы измерения переводили в стандартные для почвенных исследования дС/м (показания/1000). При анализе почв позволяет оценить содержание заряженных часимц – катионов и анионов
	TDS, ppm	Содержание твердых частиц (растворенных веществ), единицы измерения ppm –частей на миллион = мг/л. Также позволяет оценить содержание растворенных солей.
	SALT, %	Содержание соли в %
	pH	Кислотность, позволяет оценить реакцию почвы – ксилая, нейтральная или щелочная.
	ORP. mV	Окислительно-восстановительный потенциал раствора, Eh Позволяет определить этоп потенциал, также необходим для расчета гН <sub>2</sub>
	S.G.	Плотность раствора

При проведении анализа датчик погружали в водную вытяжку, дожидались, пока значения установятся (30- 60 сек) и фиксировали показания. Данные заносили в таблицу.

### ***Пороговые значения при потенциометрии и кондуктометрии***

В литературных источниках нашли пороговые значения данных параметров, которые используем при описании водных вытяжек почв.

***pH*** - по значениям pH почвы делятся на сильнокислые (3,0-4,5); кислые (4,6-5,5); слабокислые (5,6-6,5); нейтральные (6,6-7,0); слабощелочные (7,1 -7,5), щелочные (7,6-8,5), сильнощелочные (> 8,5) [7].

### ***ORP (окислительно-восстановительный потенциал, ОВП, Eh)***

Высокие значения Eh (более 450 мВ) свидетельствуют об окислительных условиях, благоприятных для процессов нитрификации (превращения аммиака в нитраты) и активности аэробных микроорганизмов. Низкие значения Eh (менее 200 мВ) указывают на восстановительные условия, при которых могут накапливаться восстановленные формы железа, марганца, сульфитов и нитритов. Это часто наблюдается в переувлажнённых или заболоченных почвах [11].

В типичных чернозёмах ОВП в верхних горизонтах обычно колеблется в пределах 400–600 мВ [12].

***rH2 – водородный потенциал***, используется для получения оценочных данных по окислительно-восстановительным условиям в средах с различным значением pH, в том числе почвах. Безразмерная величина.

Рассчитывали по формуле:

$$rH2 = Eh/29 + 2pH.$$

*rH2 выше 27 характеризует преобладание окислительных процессов. При создании в почвах восстановительной обстановки rH2 колеблется в пределах 22—25; 20-22 – «переходная» зона, при интенсивном развитии восстановительных процессов падает ниже 20 [8].*

### **ЕС Электропроводность водных вытяжек почв 1:5**

По данным, приведенным в статье об анализе химического состава почв, где анализируются и сравниваются результаты, полученные разными способами измерения, водные вытяжки почв 1:5 разной степени засоленности имеют такие значения:

- незасоленные <0.25 дСм/м
- слабозасоленные 0.25-0.6 дСм/м
- средnezасоленные 0.5-1.02 дСм/м
- сильнозасоленные 1.02-1.87 дСм/м
- очень сильнозасоленные >2 -1.87 дСм/м [9]

Для оценки степени засоленности мы сравнивали полученные результаты с табличными. Поскольку датчик выдает значения в микросименсах на сантиметр (мкСм/см), а в таблице – декасименсы на метр (дСм/м), мы делали перевод единиц измерения, для чего значение из датчика делили на 1000 [9].

**TDS** – количество растворенных частиц или, равноценно, веса всех растворенных частиц и элементов в миллиграммах, Это значение датчик рассчитывает через ЕС, умноженное на коэффициент (0,5). Это значение используют

в основном в гидропонных системах, чтобы оценить содержание элементов питания в питательном растворе или жёсткость воды.

Степень жесткости воды, показатель в ppm:

- слишком мягкая 0-70
- мягкая 71-140
- среднежесткая 141-210
- сильножесткая 211-320
- сверхжесткая 321-530

Поскольку мы оценивали почвенную вытяжку, то значения TDS мы использовали для сравнения – в какой пробе солей больше или меньше и относительно контроля и заносили полученные данные в таблицу.

## 2.5. Методика определения содержания органических веществ в почве полуколичественным методом

Для обнаружения органических веществ в исследуемых грунтах использовали полуколичественный метод, предложенный в методических указаниях к реализации проекта по поиску почвенных бактерий «Всероссийский атлас почвенных микроорганизмов».

Для экстракции органических веществ использовали 5% горячий раствор гидрокарбоната натрия  $\text{NaHCO}_2$ . Для этого 5 г. гидрокарбоната натрия растворили в 100 мл горячей дистиллированной воды и добавили его во флаконы с 1 г. навески воздушно-сухой почвы. Использовали фракции от 1 до 0,25 мм, чтобы не попадали крупные куски породы.

Полученную суспензию взбалтывали и оставили на 24 часа при комнатной температуре. В первые 12 часов суспензию перемешивали 3 раза. Через 24 часа перелили небольшую часть полученных растворов из флакона перелили прозрачный планшет на белой подложке и сравнили их цвет со шкалой [3]/



Рис.2. Шкала для оценки содержания углерода в почве, из [3]

## 2.6. Определение содержания растворенных веществ в почве с помощью тест-полосок

Использовали тест-полоски производителя EZTestPlus «Экспресс-тест для оценки качества воды 16 в 1». Всего оценивается 16 показателей: общая щелочность мг/л; общая жесткость мг/л; сероводород, мг/л; железо, мг/л; медь, мг/л; свинец, мг/л; марганец, мг/л; общий хлор, мг/л; свободный хлор, мг/л; нитраты, мг/л; нитриты, мг/л; серная кислота мг/л; цинк мг/л; хлорид натрия, мг/л; фториды, мг/л; pH.

Определяли наличие веществ в водной вытяжке грунта согласно инструкции – с помощью пипетки Пастера наносили по капле исследуемой жидкости на каждую подушечку, ждали 30 сек, после чего в течение 1-2 минут сравнивали цвет каждой подушечки на полоске со шкалой. Полученные данные занесли в таблицу.



Рис. 3. Исследование с помощью тест-полосок.  
Вверху - нанесение вытяжки, внизу- сравнение со шкалой

## 2.7 Микробиологические методы исследования грунтов

Посев бактерий из почв методов суспензии

**Приготовление водной суспензии грунта.** Для подготовки почвенной суспензии взвесили 1 г почвы, перенесли во флакон с 50 мл дистиллированной воды, интенсивно встряхивали 2 минуты и оставили на 5 минут для оседания крупных частиц. Для посева отбирали по 1 мл суспензии (без крупных частиц)

**Приготовление первичной LB –среды.** Разбавленную LB-среду (200 мл) готовили следующим образом: в термостойкий стакан внесли триптон (0,4 г), дрожжевой экстракт (0,2 г), NaCl (0,4 г) и агар (3 г), добавили 200 мл дистиллированной воды и перемешали. Смесь нагревали на печке, перемешивали с помощью магнитной мешалки. После закипания остывания до 50–60 °С. внесли 2 мл клотримазола, перемешали и разлили по 20 мл в 10 чашек Петри; после застывания (30 минут) приступили к посеву.

**Посев.** 1 мл суспензии нанесли на поверхность остывшего агара и равномерно распределили ватной палочкой. Чашки перевернули, промаркировали («Образец + дата»), поместили в приоткрытый пакет и выдержали в темноте при 20–25 °С.

Поскольку поначалу рост колоний был слабый, срок увеличили до 7 дней

**Наблюдение за ростом и подсчет колоний.** Наблюдение проводили в течение 7 дней. На 7 сутки провели подсчет колоний, для этого под чашки Петри подкладывали лист бумаги, расчерченный на квадраты 1\*1 см. При малом количестве колоний подсчет вели напрямую, если количество колоний было высоким, подсчитывали количество в 30 квадратах, находили среднее и умножали на количество квадратов на дне чашки Петри. Колонии на верхней и левой границе квадрата относили к данному квадрату, на нижней и правой границе не подсчитали, относя к соседнему. Также для проверки результатов пользовались мобильным приложением «Счетчик колоний».

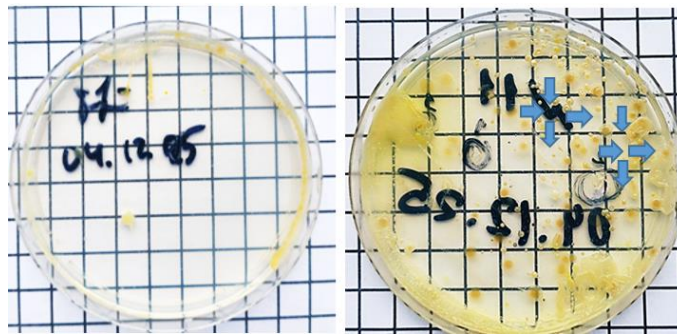


Рис 4. Подсчет колоний бактерий в чашках Петри

### *Морфологические характеристики колоний*

Для морфологического описания колоний использовали общепринятые характеристики: форма колоний, тип поверхности, контур края определяли по общепринятой классификации визуально. Также определяли цвет, прозрачность и наличие слизи как важной характеристики почвенных бактерий

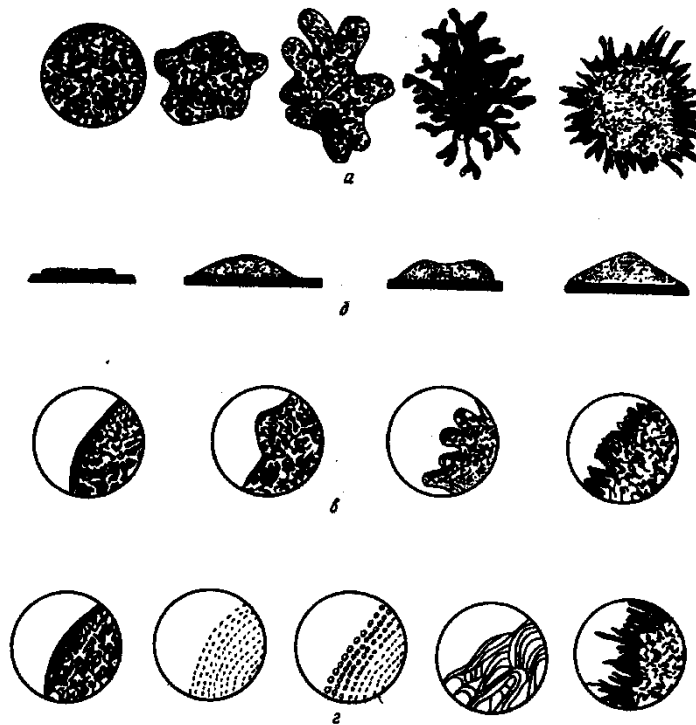


Рис. 44. Характеристика бактериальных колоний, по Й. Сеги:  
*a* — форма (круглая, неправильная, амёбовидная, ризоидная, мицелиевидная);  
*b* — поверхность (плоская, выпуклая, с вдавленным центром, конусообразная);  
*c* — контур края (ровный, волнистый, фестончатый, зубчатый);  
*d* — консистенция (плотно упакованная, мелкозернистая, крупнозернистая, вязкая, волокнистая)

Рис 5. Характеристики колоний

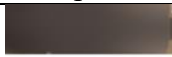

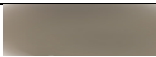
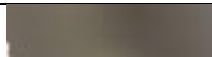


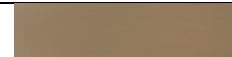






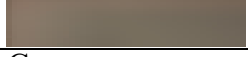
### 3. Результаты и обсуждение.

#### 3.1. Гранулометрический состав техногенных грунтов исследованных терриконов

Грунты терриконов содержат много скелетной части, которая состоит из обломков породы разного размера. Изменение механического и гранулометрического состава техногенных грунтов терриконов со временем идёт в сторону накопления мелкозёма (диаметр частиц менее 1 мм, в том числе пылеватых частиц и ила – менее 0,1 мм), при его содержании 30 и более % в грунте могут поселиться нитрифицирующие бактерии, а потом и растения [10]. Мы выяснили, что на обследованных участках фракция скелетной части почвы (> 1 мм) везде составляет более 50 %, причем она включает много крупных частиц угля и перегоревшей породы, не образующих суспензию с водой. Черноземы из контрольных участков при смачивании превращаются в практически однородную суспензию, при оседании суспензии на дне остается однородная масса, что говорит о высоком содержании глинистых частиц.

Таблица 3.

Гранулометрический состав, окраска грунтов

	Контроль	Склон 1	Склон 2	Подножие
«Террикон 1»				
Окраска	Черно-бурая	Черно-серая	Светло-серая	Темно-серая
Скелет - > 1мм		46,4%	63,8%	41,9%
Песок 0,5-0,25 мм	29,7%	30,4%	15,1%	17,1%
0,25-0,1 мм + < 0.1 мм	38,6%	24,2%	21,1%	41%
«Террикон 2»			--	
Окраска	Черно-бурая	Серо-бурая	--	Светло-бурая
10-1мм	21,7%	72,3%		26,6%
0,5-0,25	29,7%	16,3%		33,2%
0,25-0,1 мм + < 0.1 мм	18,6%	11,4%		40,2%
Цвет	Черно-бурая			
«Террикон 3»				
Окраска		Темно-серая	Темно-серая	Темно-серая
10-1мм	15,7%	58,9%	66,6%	64,6%
0,5-0,25	22%	17%	13%	14,4%
0,25-0,1 мм + < 0.1 мм	37,3%	24,1%	20,4%	21%
«Террикон 4»				
Окраска	Черно-бурый	Красно-серая	Красная	Серо-розовая
10-1 мм	65%	56%	72,9%	76,8%
0,5-0,25 мм	15%	21%	10%	10,2%
0,25-0,1 мм + < 0.1 мм	20%	23%	17,1%	13%

Наименьшее количество мелкозема мы отметили на склонах Терриконов 2 (27,7%) и 4 (23- 27%), но, поскольку содержание мелкох фракций ппакчсеки достигло 30 %, они вполне пригодны как среда для жизни микроорганизмов и не требовательных к плодородию почвы растений.

У подножия всех терриконов мелких фракций в грунте больше. У подножия Терриконов 1 и 2 грунт содержит очень много пыли (56,1% и 73,6%), но, в отличие от чернозема контрольных проб, он лишен структуры и не образует комочков.

По окраске грунты также резко отличаются от местных черноземов, что обусловлено их породным составом. Терриконы 1 и 3 – имеют грунты темно-серого цвета с включениями частиц угля, что означает, что процесс горения на них не происходил; грунт «Террикон 2» – светло-бурого цвета, что говорит о наличии глинистых пород в большом количестве. «Террикон 4» в прошлом горел и грунт имеет красную окраску из-за наличия окисленных форм железа, так же часть террикона- черная, но блестящих частиц угля не заметно.

Грунты терриконов – «техноземы», заметно отличаются от естественных почв. Для них характерно: преобладание крупных обломков (более 1 мм), неоднородный состав, низкое содержание мелкозёма в отдельных зонах и отсутствие устойчивой структуры. Окраска грунтов отражает их происхождение и историю. Поскольку свойства таких грунтов формируются под влиянием техногенных и природных процессов, оценивать их экологическое состояние и возможности рекультивации нужно индивидуально для каждого объекта.

### **3.2. Физико-химические показатели грунтов с исследованных терриконов**

#### **3.2.1. Кислотность водной вытяжки грунтов.**

Анализ рН водных вытяжек почвы показал, что техногенные грунты на одном терриконе («Террикон 1») в р-не Старо-Калиново показывают сильнокислую/кислую реакцию на склонах (рН 4,46 – 5,49), слабокислую (6,07) у подножия (см. Рис.). На расположенном рядом «малом» терриконе («Террикон 2») реакция грунта на склоне – кислая (4,51), у подножия грунт слабощелочной (7,48). Это указывает на формирование «щелочного барьера» у подножия «Террикон 2». Фоновый грунт на участке нейтральный (7,1), что типично для местных черноземов.

На терриконе шахты Горняк-95 («Террикон 3») все пробы грунта имеют нейтральную реакцию ~ 6,9. На данном терриконе по кислотности грунты наиболее благоприятные для почвенных микроорганизмов-азотфиксаторов.

На терриконе – породном отвале шахты «Капитальная» («Террикон 4») техногенные грунты имеют нейтральную реакцию выше по склону (6,58), слабощелочную ниже по склону (7,2) и слабокислую реакцию у подножия, под фрагментом спекшейся породы (5,6). Фоновый грунт в окрестностях этого террикона обладает слабощелочной реакцией (7,5), но более выраженной, чем в 2 других контрольных образцах.

При анализе мы пришли к заключению, что грунты на терриконах более кислые по сравнению с окружающими почвами, но рН не достигает экстремальных значений на обследованных участках. Разница в рН. Вероятно, зависит от типа движения и состава воды с растворенными веществами при стоке воды от дождя или таяния снега, а также места формирования физико-химических барьеров при взаимовоздействии этих стоков с окружающим терриконы черноземом у подножия.

### 3.2.2. Окислительно-восстановительные свойства водной вытяжки грунтов.

С помощью датчика мы зафиксировали окислительно-восстановительный потенциал (ОВП (ORP) или Eh) водной вытяжки грунтов терриконов и окружающих почв и сравнили их (см.Рис. 6). Поскольку мультидатчик измеряет показатели водной вытяжки, а самой почвы почве, то значения могут отличаться от реальных (например, для черноземов показания должны быть 300-500 мВ). Полученные данные позволяют сравнить разные пробы и найти самые выделяющиеся.

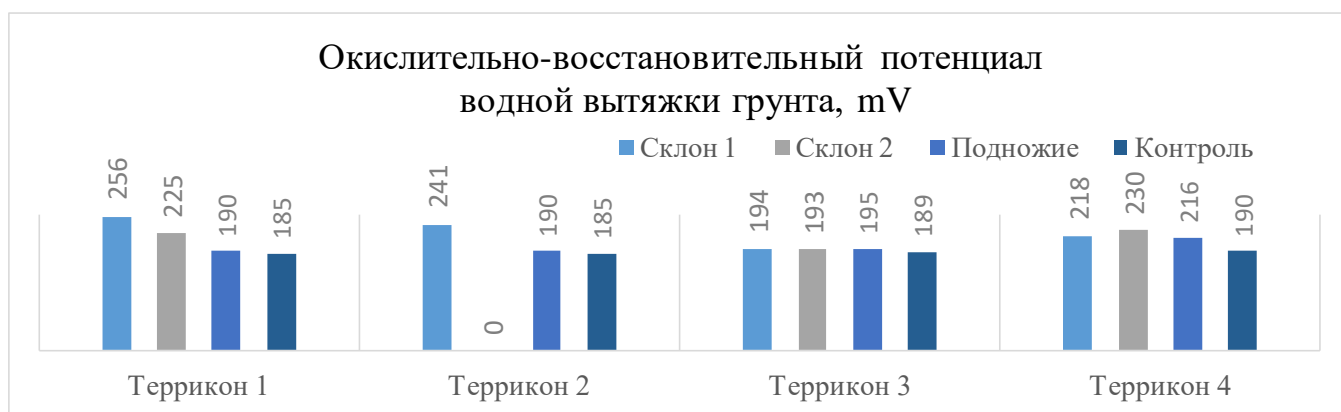


Рис. 6. Диаграмма ОВП водной вытяжки 1:5 техногенных грунтов исследованных терриконов

Как видно диаграмме, ОВП техногенных грунтов выше на 5 мВ и более по сравнению с контролем, то есть условия более восстановительные. Из литературных источников мы выяснили, что для оценки восстановительных или окислительных условий среды, кроме данных про ОВП, нужно учитывать pH, так как кислотность среды влияет и на ее окислительно-восстановительные свойства [савич]. Мы провели расчёт и занесли данные в Таблицу 4.

Таблица 4.

Показатели кислотности и окислительно-восстановительных условий водной вытяжки 1:5 техногенных грунтов терриконов

Место отбора проб грунтов	Склон 1			Склон 2			Подножие			Контроль		
	Eh	pH	rH <sub>2</sub>	Eh	pH	rH <sub>2</sub>	Eh	pH	rH <sub>2</sub>	Eh	pH	rH <sub>2</sub>
«Террикон 1»	256	4,46	<u>17,75</u>	225	5,49	<u>18,74</u>	190	6,07	<u>18,69</u>	185	7,01	20,40
«Террикон 2»	241	4,51	<u>17,33</u>	--	--	--	190	7,48	21,5	185	7,01	20,40
«Террикон 3»	194	6,47	<u>19,63</u>	195	6,7	20,12	193	6,45	<u>19,56</u>	<u>189</u>	<u>7,2</u>	<u>20,92</u>
«Террикон 4»	218	6,58	20,68	230	7,2	22,33	216	5,61	<u>18,67</u>	<u>190</u>	<u>7,5</u>	<u>21,55</u>

pH – показатель кислотности, Eh – окислительно-восстановительный потенциал, rH<sub>2</sub> – показатель, который характеризует окислительно-восстановительное состояние почвы с учетом pH и Eh

Более восстановительные условия обозначают, что в грунте находится много веществ, способных отдавать электроны – это металлы и некоторые соли,

полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Эти вещества – типичные загрязнители на терриконах.

### 3.2.3. Электропроводность водных вытяжек техногенных грунтов исследованных терриконов

Электропроводность - физико-химический показатель, который характеризует ионную активность почвы и служит мерой засоления. Водные вытяжки почвы содержат ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и другие. Значения электропроводности исследованных проб, сгруппированные по местам отбора на разных терриконах приведена на диаграмме (см. Рис. 7)

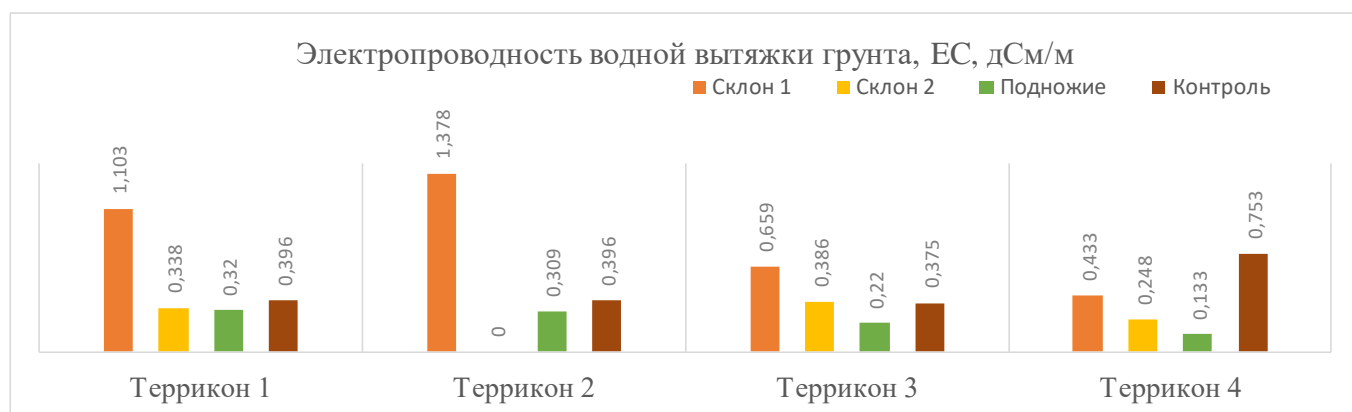


Рис. 7. Диаграмма ЕС водной вытяжки 1:5 техногенных грунтов исследованных терриконов

На основании показаний датчика и сравнения их с данными о содержании солей («засоленности») мы выяснили, что грунты по этому показателю очень неоднородны

Водные вытяжки с терриконов на участке Старо-Калиново («Террикон 1» и «Террикон 2») по электропроводности показывают высокое содержание растворимых солей на склонах ( $\text{EC} > 1,1$  дСм/м), и низкое содержание (электропроводность  $> 0,3$  дСм/м) у подножий. Также слабозасоленная почва – в контрольном образце.

Пробы техногенного грунта с террикона около шахты Горняк-95 («Террикон 3»): на склоне около вершины - средnezасоленные ( $> 0,5$  дСм/м), ниже по склону грунт слабозасоленный, у подножия незасоленный ( $< 0,3$  дСм/м). Почва в контрольном образце слабозасоленная.

На терриконе – породном отвале шахты Капитальная («Террикон 4») значения электропроводности показывают слабую засоленность в точке, наиболее приближенной к вершине, ниже по склону - незасоленный. Контрольный образец – средnezасоленный.

При проведении анализа данных мы выявили, что, в отличие от показателей pH, значения электропроводности (ЕС) на всех четырёх терриконах четко снижаются от вершины к подножию, что говорит о повышенном содержании электролитов – анионов и катионов - в грунте на вершине или около нее.

### 3.2.3. Общее содержание растворенных веществ в водных вытяжках техногенных грунтов исследованных терриконов

Общее содержание растворенных веществ (TDS – total dissolved solids) – термин, который означает показатель количества растворённых веществ, содержащихся в воде (неорганические соли, органические вещества в форме ионов). TDS – один из

типичных параметров, измеряемых мультидатчиками, предназначенными для воды. Значения TDS приведены на Рис 8.

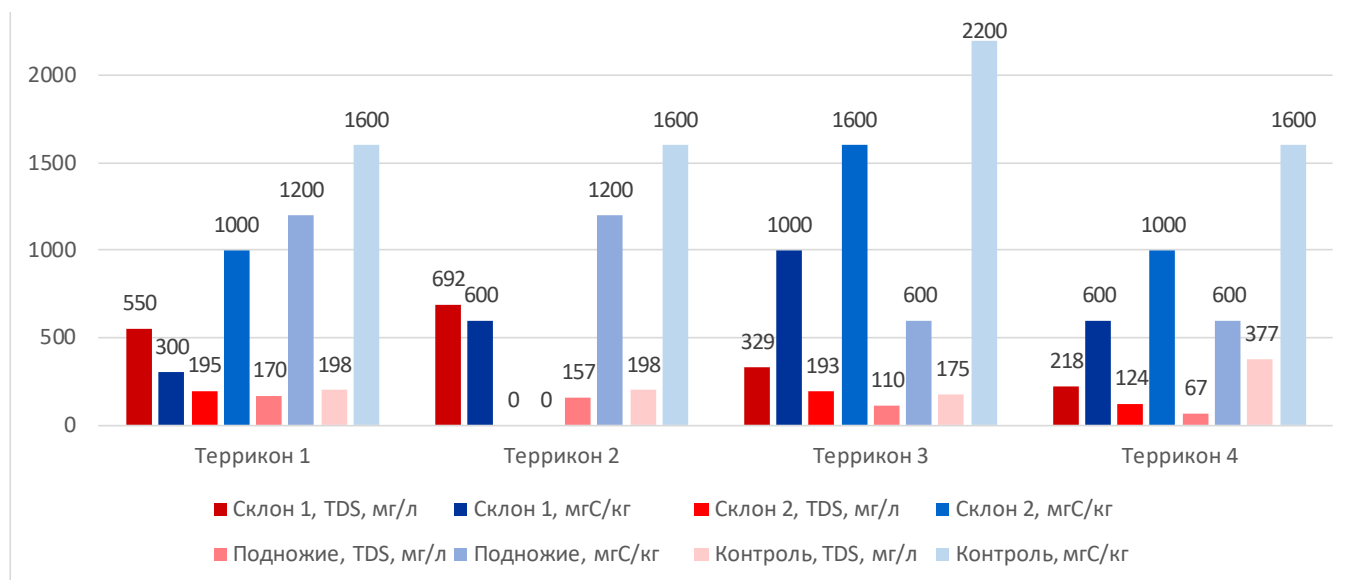


Рис. 8. Содержание растворенных частиц и органических веществ в водной вытяжке 1:5 техногенных грунтов исследованных терриконов

Поскольку вклад в TDS делают не только соли, но и органика, мы также определили содержание органических веществ в почве методом вытяжки с помощью гидрокарбоната натрия. Данные приведены в Таблице

### 3.3. Содержание органических веществ в грунтах исследованных терриконов

Содержание органических веществ, эквивалентных мгС/кг, также неодинакова для разных терриконов. Значения приведены в Таблице 5.

Таблица 5.  
Содержание  $C_{орг}$  в техногенных грунтах терриконов

Место отбора почвенных проб	Содержание органических веществ, экв. мгС/кг почвы			
	Склон 1	Склон 2	Склон 3	Контроль
«Террикон 1»	300	1000	1200	1600
«Террикон 2»	600	--	1200	1600
«Террикон 3»	1600	1200	600	2200
«Террикон 4»	1200	1600	600	1600

Содержание органического вещества (в пересчете на мгС/кг почвы), на каждом терриконе ниже, чем на контрольном участке в его окрестностях, независимо от абсолютных значений. Постепенное увеличение содержания органики в грунтах от вершины к подножию характерно для «Террикона 1» и «Террикон 2», а на «Терриконе 3» и «Терриконе 4» показывает максимальные значения на склонах в нижних точках, но не на самих подножиях. Интересен факт, что у подножия «Террикон 3» содержание

органических веществ в грунте даже ниже, чем на склоне, хотя растительный покров там гуще.

Закономерность изменений содержания органических веществ в грунтах такая же, как для показателя  $\text{гН}_2$  – вероятно, больше органики наблюдается в менее восстановительных условиях.

#### **Связь TDS и содержания органических веществ в исследованных грунтах**

Показатель TDS падает от вершины к подножию на всех исследованных терриконах, как и электропроводность. В почвах, наиболее приближенных к вершине этот показатель превышает контроль в 2-4 раза, а у подножий ниже (0,62-0,85 относительно контроля). Значения этих параметров в долях относительно контрольных образцов приведены в Таблице 6.

Сильно выделяется горелый отвал «Террикон 4», в котором показатели TDS существенно ниже, чем в почве из контрольной пробы. Вероятно, это связано с процессами, происходящими во время горения, когда многие вещества перешли в нерастворимую форму.

Таблица 6.

Значения TDS и  $C_{\text{орг}}$  в водной вытяжке 1:5 грунтов терриконов относительно контроля

Место сбора образцов	Склон 1		Склон 2		Подножие	
	TDS отн	$C_{\text{орг}}$ отн	TDS отн	$C_{\text{орг}}$ отн	TDS отн	$C_{\text{орг}}$ отн
«Террикон 1»	3,7	0,19	0,98	0,63	0,85	0,75
«Террикон 2»	3,5	0,38	--	--	0,79	0,75
«Террикон 3»	1,88	0,45	1,1	0,72	0,62	0,27
«Террикон 4»	0,63	0,38	1	0,63	0,17	0,63

По содержанию органических веществ закономерность обратная - их содержание растет от вершины к подножию в пробах грунтов с «Террикона 1» и «Террикон 2». Грунты «Террикон 3» и «Террикон 4» характеризуются более высоким содержанием органических веществ на склонах и относительно низким – у подножия.

В целом можно сказать, что для терриконов наблюдается следующая закономерность – чем выше TDS, тем ниже содержание органических веществ, причем независимо от абсолютных значений. Для контрольных проб такой зависимости, вероятно, нет – для контрольной пробы около «Террикона 4» оба показателя выше, чем на «Терриконе 4», а в контрольной пробе около «Террикон 3» содержание органических веществ значительно выше (2200 мгС/кг против 1200), чем в грунте «Террикона 1» с таким же показателем TDS (~170 ppm).

Можно сделать заключение, что на терриконах высокое содержание растворенных частиц приходится на долю растворимых неорганических соединений.

#### **3.4. Результаты анализа водных вытяжек грунтов с помощью тест-полосок**

Результаты, полученные при использовании экспресс-теста, при ведены в Таблице 7.

Анализ показал, что в водной вытяжке из почв терриконов сумма концентраций анионов  $\text{НСО}_3^-$ ,  $\text{СО}_3^{2-}$  и  $\text{ОН}^-$  меньше, чем в образцах почвы из их окрестностей (кроме подножия «Террикон 2»), в пробе 5 и 11 солей концентрация щелочноземельных металлов (включая соли кальция и магния) выше, чем в контроле. Медь отмечена для

Терриконов 1 (0,2 мг/л), 3 и 4 (0,5 мг/л). На Терриконах 1 и 2 (Центрально-Городской район города), а также в контрольной пробе отмечено наличие свинца в концентрации 50 мг/т на терриконах и 5 мг/т в контроле.

Таблица 7.

Содержание различных соединений в водной вытяжке грунтов 1:5

Показатель	№ пробы							
	2	4	5	6	7	10	11	13
Общая щелочность, мг/л	40	0	240	240	120	240	40	0
рН	6.8	<6,2	>8,4	>8,4	<6,2	>8,4	7,2	<6,2
Жесткость, мг/л	250	250	425	250	250	250	425	25
Медь, мг/л	0,2	0	0	0	0,2	0	0,5	0,5
Свинец, мг/т	50	0	50	5	5	5	5	0
Марганец, мг/л	0	0	0,1	0,05	0	0,05	0	0
Нитраты, мг/л	10	25	10	25	500	25	500	250
Нитриты мг/л	0	0	0	1	0	5	1	0
Серная кислота мг/л	120	200	0	0	800	0	200	800
Цинк, мг/л	5	2	0	0	0	0	0	0
Хлорид натрия, мг/л	0	500	0	0	0	0	0	0

На терриконах 3 и 4 (Горняцкий район города) концентрация свинца 5 мг/т, в фоновых почвах не отмечен. Содержание нитратов также различается на терриконах из разных районов. В пробах техногенных грунтов терриконов Горняцкого района значительно повышено содержание нитратов (500 мг/л на терриконе 3, в пробе со склона с террикона 4; 250 мг/л в пробе подножия Террикона 4), что в 10 раз превышает фоновые 25 мг/л. В пробах с терриконов Центрально-городского района значения не превышает фоновое 25 мг/л, и некоторых меньше. Марганец в фоновых почвах – 0,05 мг/л, во всех пробах, кроме подножия «Террикон 2» (0,1 мг/л) отсутствует. Содержание меди выше всего на терриконе 4 (0,5 мг/л), на терриконе 1 и 4 – 0,2 мг/л, на «Терриконе 2» отсутствует. Высоко содержание серой кислоты в водной вытяжке со всех терриконов (120-800 мг/л), в фоновых пробах она не отмечена.

### 3.5. Результаты микробиологического анализа исследованных грунтов

Рост колоний относительно медленный, на 3 сутки были отмечены единичные колонии, на 7 сутки количество достигло максимальных значений – на 10 сутки увеличение количества колоний не отмечено или незначительно. Кроме подсчета колоний, мы также проанализировали разнообразие их морфологических характеристик на культуральной среде (см. Приложение 3). Это необходимо для оценки разнообразия микробного сообщества. Результаты представлены в Таблице 8.

Таблица 8  
Количество бактерий и их разнообразие в пробах грунта

Место отбора почвенных проб	Кол-во колоний=КОЕ (количество колониобразующих единиц) в суспензии грунтов 1:50, 7 сут. инкубирования / количество морфологических типов колоний			
	Склон 1	Склон 2	Подножие	Контроль
«Террикон 1»	77/6	325/3	406/2	381/2
«Террикон 2»	92/5	--	588/3	381/2
«Террикон 3»	525/3	566/2	285/2	314/2
«Террикон 4»	11/5	65/3	63/3	41/2

Для анализа взаимосвязи свойств грунтов и микробиоты мы объединили данные о характеристиках грунта и количественных данных о бактериях, которые выявлены в образцах.

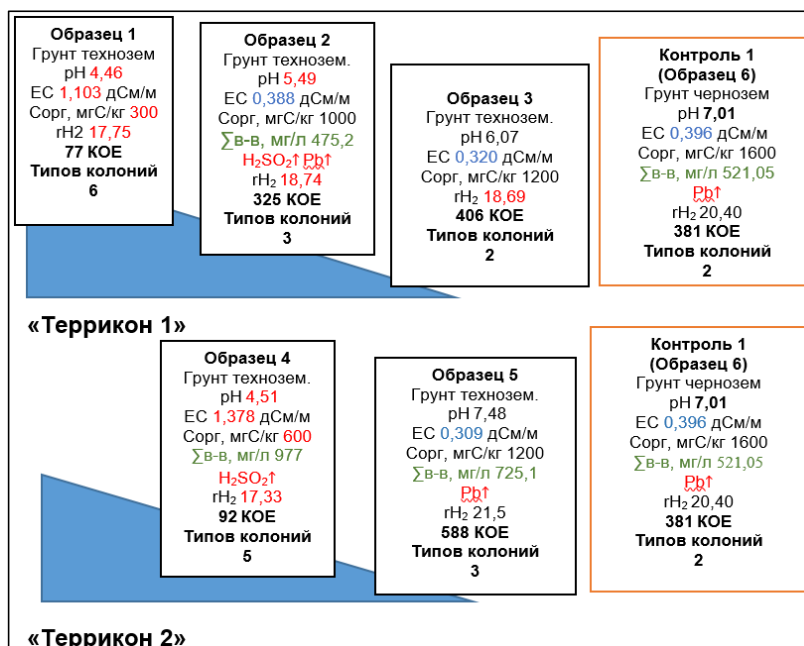


Рис 8. Характеристика грунтов «Террикона 1» и «Террикон 2» как места обитания почвенных бактерий

На «Терриконе 1» и «Терриконе 2» наблюдается последовательное увеличение численности микроорганизмов от верхних склонов к подножиям: значения КОЕ возрастают с 77–92 до 406–588 соответственно. При этом морфологическое разнообразие снижается от 5–6 типов на склонах до 2–3 у подножия. Такая динамика указывает на то, что в менее токсичных условиях доминируют наиболее конкурентоспособные виды, вытесняющие остальные. В более токсичных грунтах либо выше видовое разнообразие, либо бактерии тех же видов демонстрируют приспособление к негативным условиям на уровне клеток и колоний. «Террикон 3» демонстрирует иную картину: максимальная численность КОЕ (525–566) зафиксирована на склонах, а у подножия показатель снижается до 285 КОЕ при сохранении низкого морфологического разнообразия (2–3 типа).

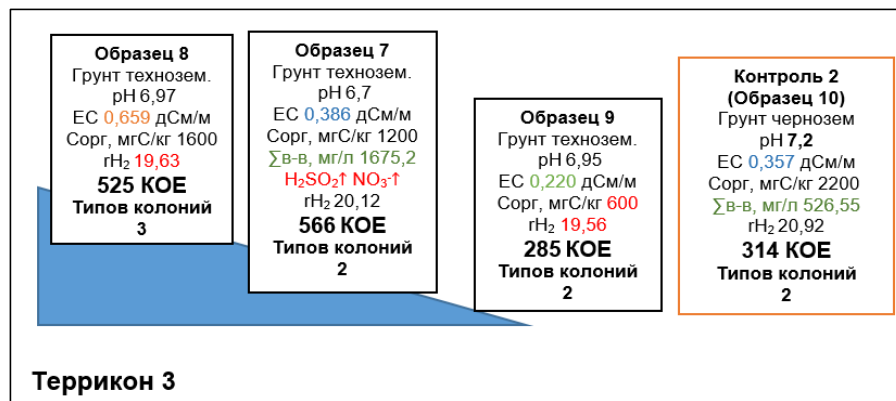


Рис 9. Характеристика грунтов «Террикон 3» как места обитания почвенных бактерий

Преобладают белые и полупрозрачные каплевидные колонии с гладкой поверхностью. Различий и морфологии колоний на терриконе и контроле мало, что говорит о достаточно благоприятных условиях или о том, что это давно сложившееся микробное сообщество, в котором выделились доминантные виды, приспособленные к жизни в данном грунте - вероятно, к определённому уровню минерализации и качественному составу. Такие штаммы могут быть эффективны при очистке грунтов со схожими физико-химическими характеристиками.

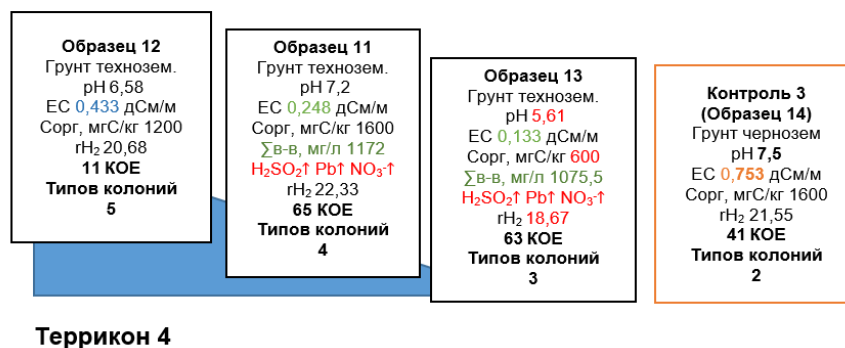


Рис. 10. Характеристика грунтов «Террикона 4» как места обитания почвенных бактерий

Наиболее сложная ситуация выявлена на «Терриконе 4», который подвергся горению. Здесь повсеместно отмечается низкая численность микроорганизмов (11–65 КОЕ), но сохраняется относительно высокое морфологическое разнообразие (3–5 типов). Присутствуют кремовые и коричнево-кремовые пастообразные колонии с неровными краями. Эти морфотипы указывают на вероятную стрессустойчивость штаммов, способных выживать в экстремальных условиях высокой кислотности и токсичности [1].

Подобные микроорганизмы представляют особую ценность для очистки сильно загрязнённых и горелых грунтов, где другие виды не способны функционировать.

Наиболее перспективными для биоремедиации являются бактерии со склонов «Террикон 1» (пробы 1, 2), «Террикон 2» (проба 4), «Террикон 4» (пробы 11, 12, 13), такна них наибольшее разнообразие, приспособившиеся к различным неблагоприятным условиям в техногенных грунтах.

## **Выводы**

1. Экспресс-анализ грунтов выявил существенные отличия техногенных почв терриконов от контрольных участков. Гранулометрический состав характеризуется преобладанием скелетной фракции ( $> 1$  мм) — до 76,8 % на отдельных участках. Содержание мелкозёма ( $< 0,1$  мм), критически важного для развития микробиоты, достигает 30 % лишь у подножий. Кислотность варьирует от сильнокислой (рН 4,46) до слабощелочной (рН 7,48). Засоление (по электропроводности) максимально на вершинах ( $ЕС > 1,1$  дСм/м) и снижается к подножиям ( $< 0,3$  дСм/м).
2. Микробиологический посев показал градиент численности КОЕ: от 11–92 КОЕ на верхних склонах до 406–588 КОЕ у подножий «Террикона 1» и «2». На «Терриконе 3» зафиксирована максимальная численность (525–566 КОЕ) на склонах при низком морфологическом разнообразии (2–3 типа). На горелом «Терриконе 4» численность минимальна (11–65 КОЕ), но сохраняется 3–5 типов, включая стрессоустойчивые формы. Контрольные участки демонстрируют стабильные показатели (314–381 КОЕ, 2 типа).
3. Установлена связь между физико-химическими параметрами грунта и структурой микробных сообществ. Высокая кислотность (рН  $< 5,5$ ) и восстановительные условия ( $Eh > 250$  мВ) соответствуют низкой численности бактерий, но при этом выше морфологическое разнообразие. Увеличение мелкозёма ( $> 30$  %) у подножий способствует развитию микроорганизмов, а повышенная электропроводность ( $ЕС > 1$  дСм/м) на вершинах их угнетает. Содержание органики (300–600 мгС/кг на склонах против 1600–2200 мгС/кг в контроле) ограничивает биологическую активность, но выявляет адаптированные штаммы.
4. Экспресс-методы (рН, Eh, ЕС, TDS, тест-полоски) подтвердили свою эффективность для первичного скрининга. Они позволили оперативно оценить содержание анионов, катионов, тяжёлых металлов (Cu, Pb) и нитратов; сопоставить физико-химические параметры с распределением бактерий; выделить зоны потенциального обитания биоремедиаторов и определить приоритетные пробы для выявления интересных по свойствам штаммов.

## **Заключение**

В дальнейшем планируется продолжение работы в рамках проекта. Бактерии из грунтов будут посеяны на селективные среды с солями меди, цинка и никеля для проверки их способности обезвреживать тяжелые металлы, а также на селективные среды, которые покажут способность этих бактерий разрушать ПАУ – органические загрязнители, которые присутствуют как в почвах терриконов, так и в почвах города. Приносим благодарность Исаевой Виолетте и Угай Варваре, обучающимся кружка «Юные ученые» МБУДО «СЮН» за помощь в реализации практической части исследования, ФБГОУ ПО «ДОНАГРА» за консультационную помощь и помощь в реализации практической части проекта.

## Список использованной литературы

1. Бабаев Э. Р., Муштагова Ф. Г. Применение микроорганизмов в процессах биоремедиации // НефтеГазоХимия. 2024. №3-4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-mikroorganizmov-v-protssesah-bioremediatsii> (дата обращения: 18.11.2025).
2. Васильева В.А. Загрязнение почв в условиях работы шахты «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» Донбасская национальная академия строительства и архитектуры/Международная научно-техническая интернет-конференция «Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов» URL <https://www.kadastr.org/conf/2018/pub/monitprir/zagryaznenie-pochv-v-usloviyah-raboty-shahty-holod.htm>
3. Всероссийский атлас почвенных микроорганизмов. Методические рекомендации к базовому исследовательскому набору: получение и анализ азотфиксирующих бактерий. Новосибирск, 2022 [Электронный ресурс].
4. Зубова Л. Г. Терриконы и их лесная рекультивация : монография / Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов, А. А. Зубов. – Волгоград : ФНЦ агроэкологии РАН . – 2022.
5. Зубова Л.Г. Оптимизация терриконовых ландшафтов: монография / Л.Г. Зубова, А. Р. Зубов, С. Г. Воробьев и др. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. – 208 с.
6. Жуков С. П. Трансформация биоценозов южных районов города Макеевка // Фиторазнообразии Восточной Европы. – 2023. – №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-biotsenozov-yuzhnyh-rayonov-goroda-makeevka> (дата обращения: 20.12.2025)
7. Луганский, В. Н. Химический анализ почв : учебно-методическое пособие по проведению лабораторных занятий / В. Н. Луганский ; Минобрнауки России, Урал. гос. лесотехн. ун-т, Кафедра лесоводства. – Екатеринбург : [УГЛТУ], 2015. – 28 с.
8. Почвоведение : в 2 частях : учебник для почвенных и географических специальностей университетов / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская ; под ред.: В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. - Москва : Высшая школа, 1988 - .. Ч. 1 : Почва и почвообразование. - 1988. - 400 с
9. Прокопьева К.О, Конюшкова М.В. Гармонизация результатов химического исследования засоленности почв// Аридные экосистемы. – 2023. – Т. 29. – № 3 (96). – Москва, 2023. – С.24-35
10. Рева М. Л. Динамика естественного зарастания терриконов Донбасса / М. Л. Рева, В. И. Бакланов // Растения и промышленная среда / МВ и ССО РСФСР, Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького. – Свердловск : УрГУ, 1974. – Сб. 3С. 109-115.
11. Савич В. И., Гукалов В. В., Поляков А. М. Окислительно-восстановительное состояние почв как критерий их плодородия // Плодородие. – 2017. – №6 (99). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/okislitelno-vosstanovitelnoe-sostoyanie-pochv-kak-kriteriy-ih-plodorodiya> (дата обращения: 30.11.2025).
12. Семенков И. Н , Шарапова А. В., Леднев С. А., Королева Т. В. Фракционный состав соединений марганца в верхнем почвенном слое зон воздействия террикона угольной шахты (Среднерусская лесостепь) // Почвоведение. – 2023. – № 4. – С. 502-509
13. Фасхутдинова Е. Р., Осинцева М. А., Неверова О. А. Перспективы использования микробиома почв угольных отвалов с целью ремедиации антропогенных нарушенных экосистем // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-mikrobioma-pochv-ugolnyh-otvalov-s-tselyu-remediatsii-antropogenno-narushennyh-ekosistem> (дата обращения: 05.10.2025).
14. Информация по основным загрязнителям атмосферного воздуха города Макеевки за 2024 года
15. Отчет об экологической ситуации города Макеевки за 2015 год. – Макеевская государственная региональная экологическая инспекция. – 2015. – 118 с.
16. Сведения о природоохранной деятельности ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь» . — Макеевка. — 2017 г.

Терриконы – места отбора проб грунтов

Спутниковый снимок, Яндекс-карты	Фото терриконов 1 и 2
	
<p>«Террикон 1»                  Террикон в Центральном-Городском районе г. Макеевка, Калиново-старое                  На терриконе высажены дубы и робинии                  Есть участок на склоне, лишенный растительности, черного цвета                  48.061489, 37.987043                  Высота ~ 25-30 м</p>	
	

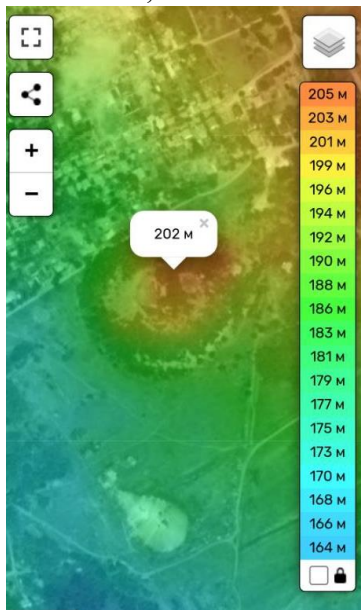


**«Террикон 2»**

Террикон в Центрально-Городком районе г. Макеевка, Калиново-старое  
48.058871, 37.9873434

Высота ~ 25-30 v

Растительный покров незначительный, травянистые растения, редкие кустарники – шиповник, малина/ежевика



Спутниковый снимок, Яндекс-карты,

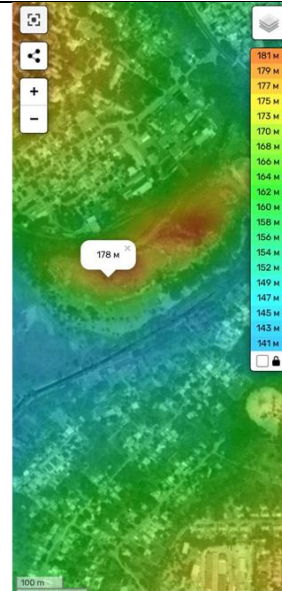
Фото «Террикон 3»



Террикон около шахты Горняк-95  
Горняцкий район г. Макеевки  
Вершина плоская



Координаты: 48.02309, 37.96551





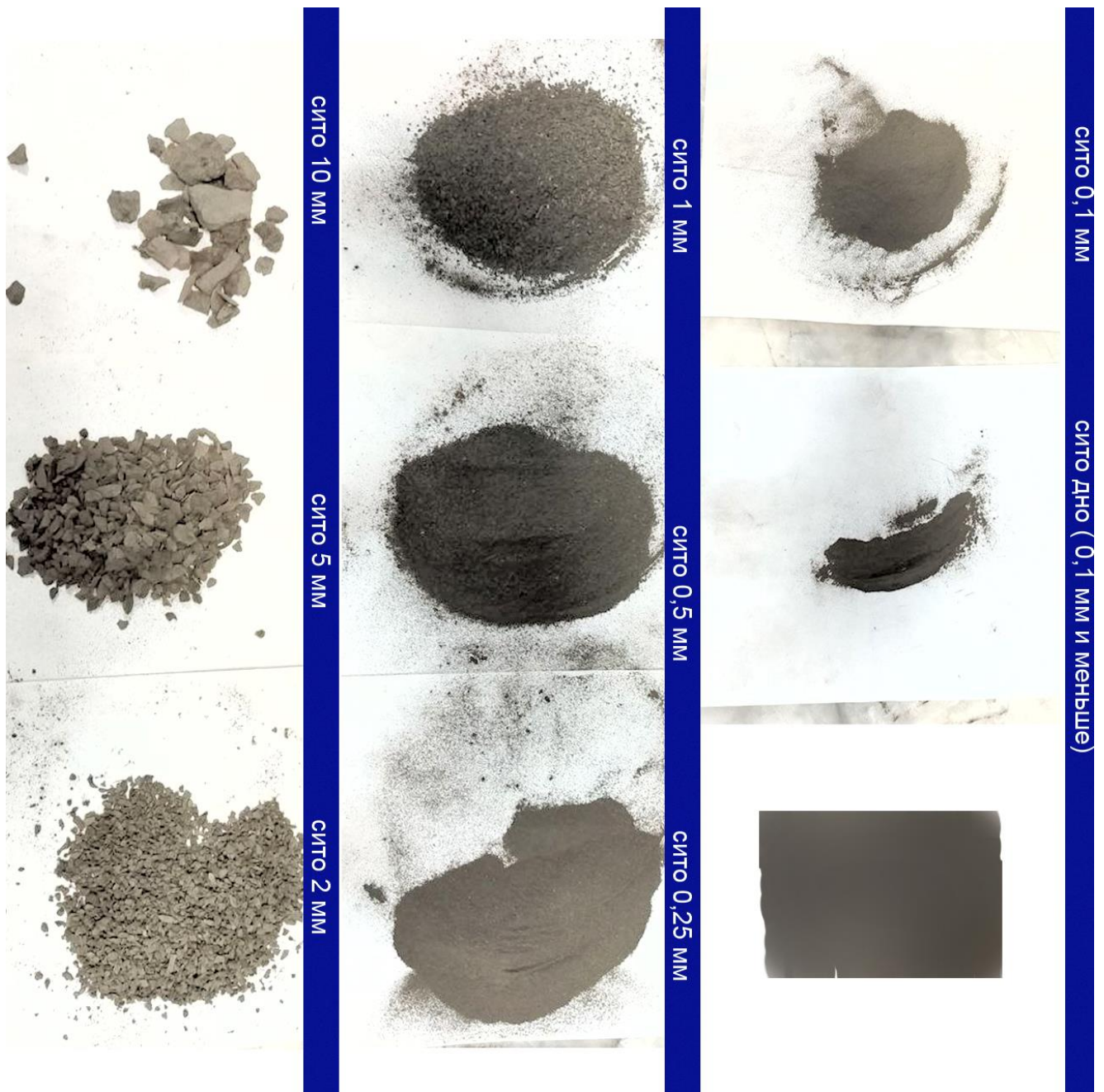


Рис.1. Техногенный грунт с Террикона 1 (много угля в составе)

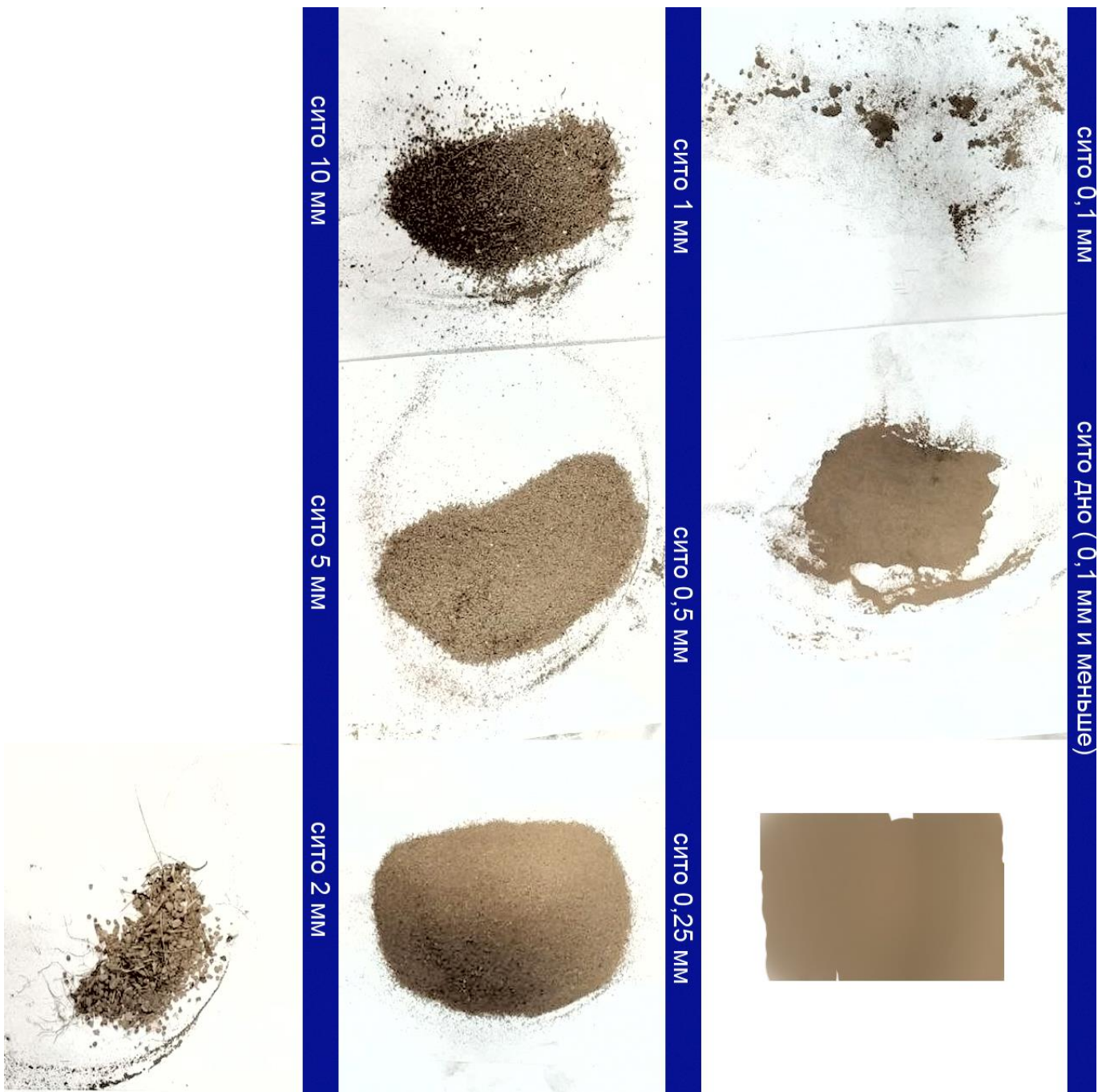


Рис.2. Техногенный грунт с Террикона 2 (много глины в составе)

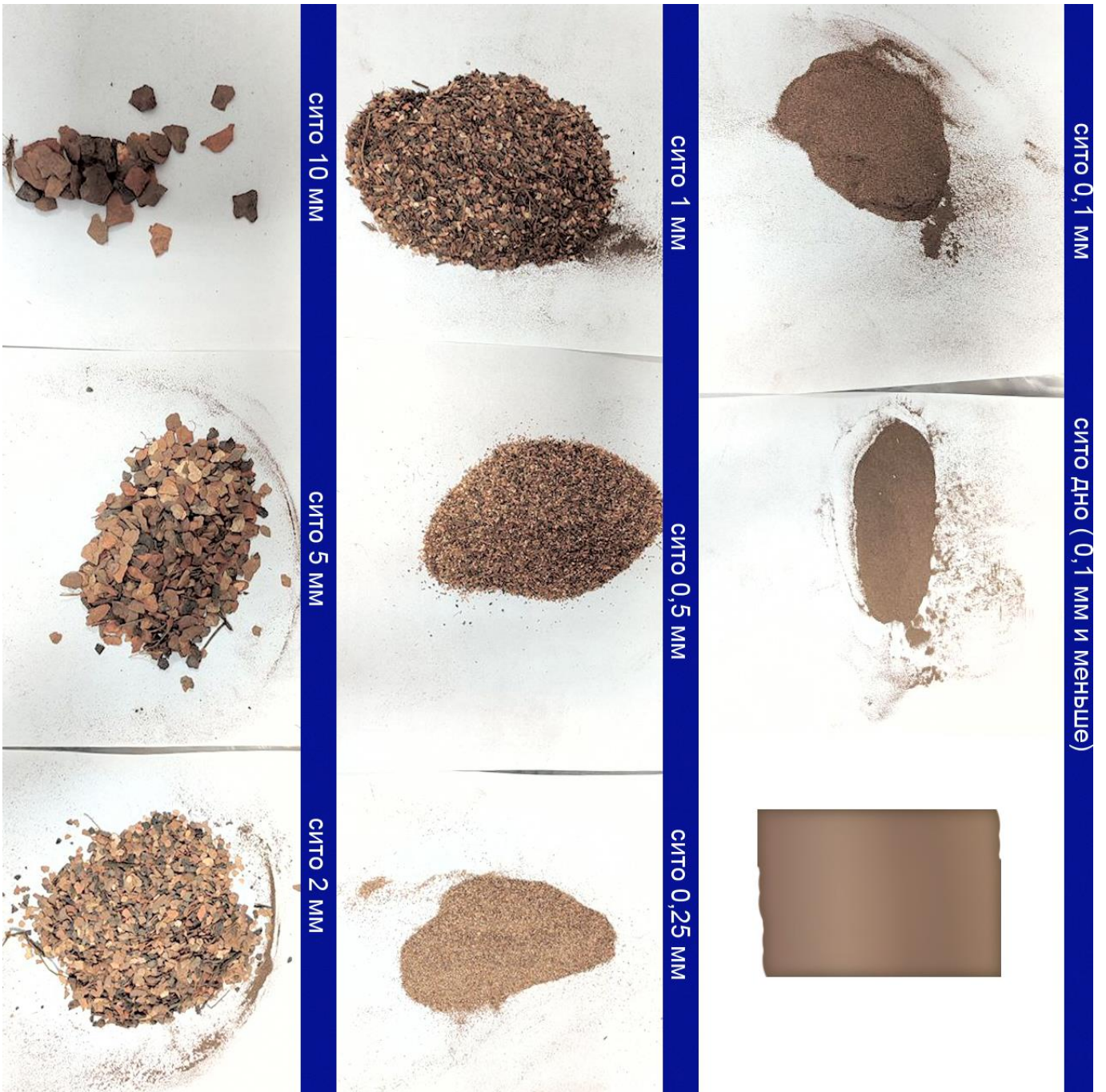


Рис.3. Техногенный грунт с Террикона 4 (прогоревшего)

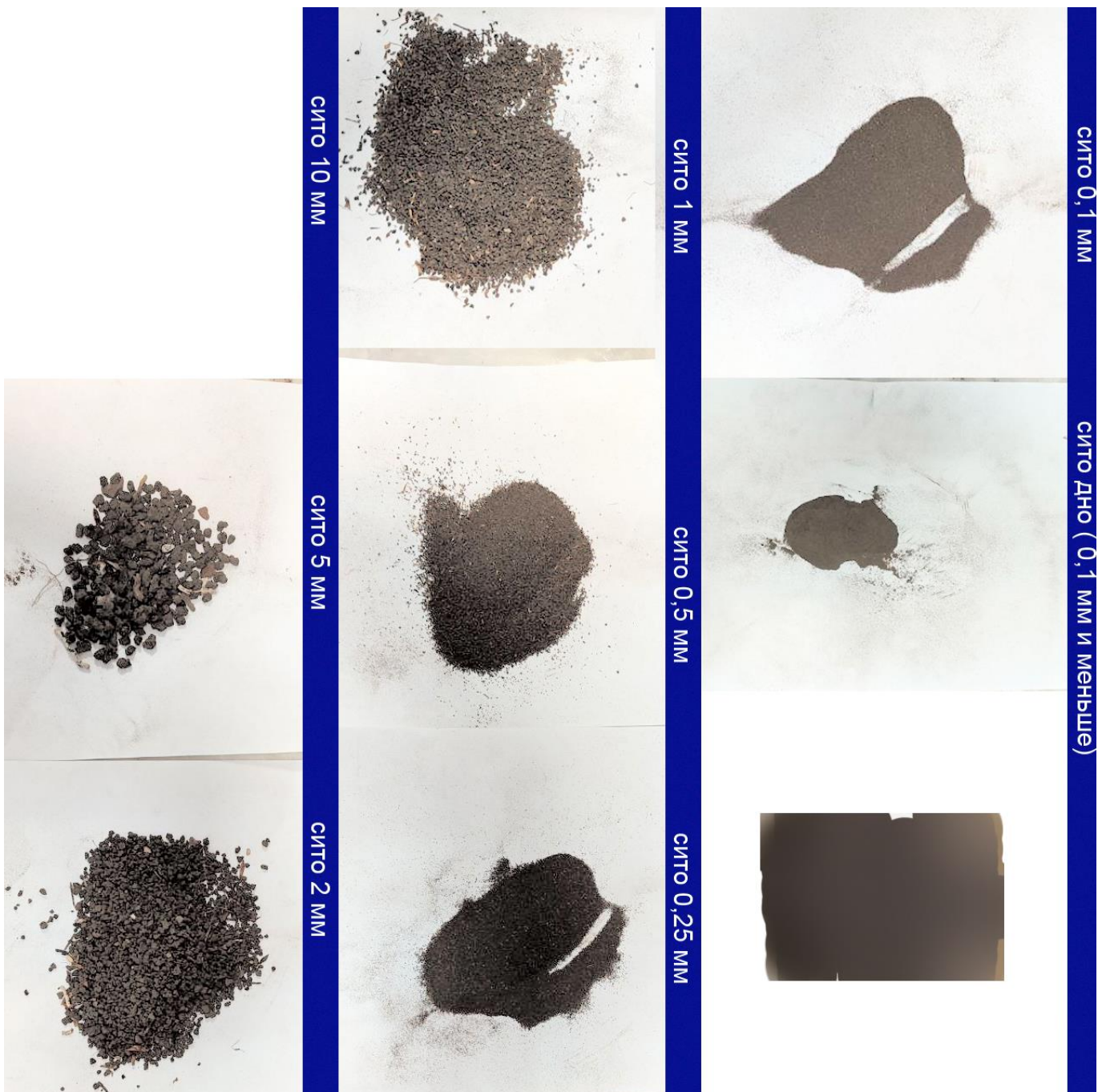


Рис. 4. Типичный местный грунт (чернозем) – контрольная проба



Рис.5 – Справа грунт с террикона 2, посередине – контрольный грунт (чернозем), слева – грунт с прогоревшего террикона В техноземах большое количество крупных минеральных фрагментов даже во фракциях 0,5-0,25 мм

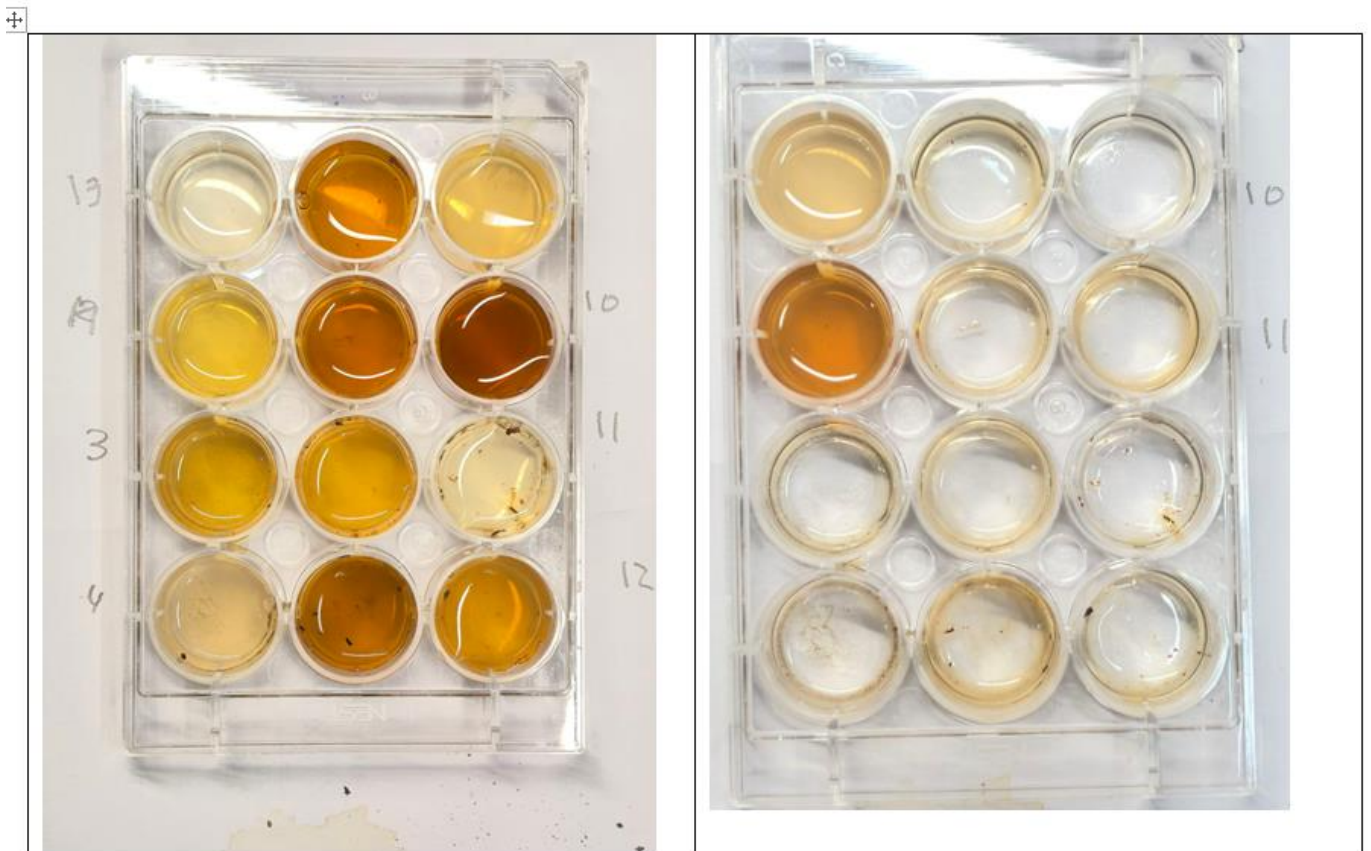


Рис.6 – Цвет гидрокарбонатной вытяжки из грунтов после 24 ч. отстаивания




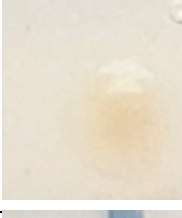
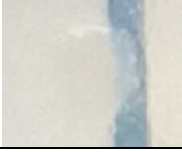
## Разнообразие типов колоний бактерий из исследованных грунтов

<b>«Террикон 1» склон 1</b>		
<b>Фото</b>	<b>Обильность</b>	<b>Описание</b>
	Массово	Колонии 2-5 мм Полупрозрачные, белые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единично	Колонии менее 5 мм, коричнево-кремового цвета, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые
	Единично	Колонии менее 5 мм, непрозрачные, белого цвета, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые
	Единично	Колонии более 5 мм, прозрачные, с диффузной коричневой окраской по центру, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые
	Единично	Колонии менее 5 мм, желтоватые, непрозрачны, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единично	Колонии более 5 мм, полупрозрачные, плоские диффузные, белые
<b>«Террикон 1» склон 2</b>		
	Массово	Колонии 5 мм Непрозрачные, белые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Массово	Колонии 5 мм Полупрозрачные, белые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единично	Колонии менее 5 мм Полупрозрачные, белые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистым ободком

<b>«Террикон 1» подножие</b>		
	Массово	Колонии 2- 4 мм Непрозрачные, белые, круглые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем  Полупрозрачные, белые, круглые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единично	Колонии менее 5 мм Непрозрачные белые, круглые, плоские, с морщинистой блестящей поверхностью, ровным краем
<b>Контроль 1</b>		
	Массово	Колонии 1-5 мм Непрозрачные, белые, круглые, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Массово	Колонии 1-4 мм Прозрачные, белые, круглые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком
<b>«Террикон 2» Склон 1</b>		
	Массово	Колонии 1-5 мм Непрозрачные, белые, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единичные	Колонии 1-2 мм, полупрозрачные, неправильной формы, розоватые, плоские, с шершавой поверхностью,
	Единичные	Колонии 1-2 мм, полупрозрачные, белые, округлые, с валиком по краю, гладкие, слизистым бугристым ободком амебовидной формы

	Единичные	Колонии 2- 3 мм, непрозрачные, белые, круглые, плоские, с морщинистой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единичные	Колонии 2- 3 мм, непрозрачные, белые, круглые, с приподнятым центром, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
<b>«Террикон 2» Подножие</b>		
	Массовые	Колонии 1-5 мм Непрозрачные, белые, круглые, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Массовые	Колонии 1-4 мм полупрозрачные, белые, круглые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком
	Единичные	Колонии 1-2 мм, ярко-желтые, непрозрачные, каплевидные, круглые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком значительных размеров
<b>«Террикон 3»склон 1</b>		
	Массовые	Колонии 2-5 мм Полупрозрачные, белые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	Единичные	Колонии 1-4 мм полупрозрачные, белые, круглые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком
	Единичные	Колонии 1-2 мм полупрозрачные, коричневые, круглые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком
<b>«Террикон 3» Склон 2 и Подножие</b>		

	<b>Массово</b>	Колонии 2-5 мм Полупрозрачные, белые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
<b>Контроль 2 – как на склоне 2</b>		
<b>«Террикон 4» Склон 1</b>		
	<b>Массово</b>	Колонии более 5 мм, сливаются в сплошной газон, непрозрачные, кремовые, выпуклые с ровной поверхностью, круглые, неправильным краем, пастообразные
	<b>Массово</b>	Колонии 1-4 мм полупрозрачные, коричневые, круглые, каплевидные, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком
	<b>Единично</b>	Колонии более 5 мм, сильно выпуклые, кремовые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	<b>Единично</b>	Колонии более 10 мм, неправильной формы, плоские, полупрозрачные, желтые, с морщинистой поверхностью
	<b>Единично</b>	Колонии более 10 мм, неправильной формы, плоские, прозрачные, желтые, с гладкой блестящей поверхностью
<b>«Террикон 4» Склон 2</b>		
	<b>Массово</b>	Колонии 2-5 мм, коричнево-кремовые, непрозрачные, каплевидные, круглые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком значительных размеров
	<b>Массово</b>	Колонии 2- 3 мм, непрозрачные, кремовые, круглые, выпуклые с приподнятым центром, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем

	<b>Единично</b>	Колонии 1-5 мм Непрозрачные, белые, круглые, плоские, с валиком по периферии, с гладкой блестящей поверхностью, неровным краем
	<b>Единично</b>	Колонии 1-3 мм Полупрозрачные, белые, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
<b>«Террикон 4» Подножие</b>		
	<b>Массово</b>	Колонии 2-5 мм Полупрозрачные, белые, выпуклые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
	<b>Массово</b>	Колонии 2-5 мм, коричнево-кремовые, непрозрачные, каплевидные, круглые, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем, слизистые, со слизистым ободком значительных размеров
	<b>Массово</b>	Колонии 2-5 мм Полупрозрачные, белые, плоские, с гладкой блестящей поверхностью, ровным краем
<b>Контроль 3 – как у подножия</b>		