

Е.А. Бекешев<sup>1,2\*</sup>, А.М. Бапышев<sup>2</sup>, Е.Ю. Степанова<sup>2</sup>,

А.Б. Джумагазиева<sup>3</sup>, Қ.Б. Бекешева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Филиал РГП «Инфракос» в г. Алматы, Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup>НАО «Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова»,  
Казахстан, г. Алматы

\*e-mail: Chemist\_e@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА МИКРОБНУЮ ФЛОРУ ПОЧВЫ

Исследование посвящено оценке влиянию различных концентраций углеводородных ракетных топлив в почве, выраженное в количественном и качественном составе основных представителей почвенного биоценоза и активности ферментов. Для этого проведены микробиологические исследования качественного и количественного состава почвенной микрофлоры в 11-ти образцах почвы, обработанных ракетным углеводородным топливом марки Т-1 и РГ-1, с шифрами К1, Т-1-1, Т-1-2, Т-1-3, Т-1-4, Т-1-5, РГ-1-1, РГ-1-2, РГ-1-3, РГ-1-4, РГ-1-5. Оценка микробиологической активности почвы производилась на основе показателей численности микроорганизмов, выраженных в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 грамм почвы. Определение численности микроорганизмов проводилось путем ряда последовательных 10-ти кратных разведений в стерильном 0,9 %-ном физиологическом растворе и посева их в агаризованные питательные среды с последующим подсчетом выросших колоний. Для определения общего микробного числа (ОМЧ), растущих на органическом азоте, производилась количественный посев из разведений почв в стерильном 0,9 %-ном физиологическом растворе на коммерческой стандартизированной среде питательный агар (M001) компании Himedia (Индия). В результате проведенных научных исследований, в большинстве экспериментальных групп наблюдалось снижение численности основных почвенных представителей микроорганизмов, что может являться следствием воздействия углеводородов.

**Ключевые слова:** ракетное топливо, углеводород, почва, грибы, микроорганизмы, бактерия.

E.A. Bekeshev<sup>1,2\*</sup>, A.M. Bapyshev<sup>2</sup>, E.Yu. Stepanova<sup>2</sup>,

A.B. Dzhumagazieva<sup>3</sup>, K.B. Bekesheva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Branch of RSE "Infracos" in Almaty, Kazakhstan, Almaty

<sup>3</sup>NJSC «Asfendiyarov Kazakh National Medical University», Kazakhstan, Almaty

\*e-mail: Chemist\_e@mail.ru

## Study of the impact of petroleum products on soil microbial flora

The study is devoted to assessing the influence of various concentrations of hydrocarbon rocket fuels in the soil, expressed in the quantitative and qualitative composition of the main representatives of the soil biocenosis and enzyme activity. For this purpose, microbiological studies of the qualitative and quantitative composition of soil microflora were carried out in 11 soil samples treated with rocket hydrocarbon fuel grades T-1 and RG-1, with codes K1, T-1-1, T-1-2, T-1-3, T-1-4, T-1-5, RG-1-1, RG-1-2, RG-1-3, RG-1-4, RG-1-5. The assessment of the microbiological activity of the soil was based on the indicators of the number of microorganisms expressed in colony-forming units (CFU) per 1 gram of soil. The determination of the number of microorganisms was carried out by a series of consecutive 10-fold dilutions in sterile 0.9% saline solution and seeding them into agarized nutrient media, followed by counting the grown colonies. To determine the total microbial number (TMN) growing on organic nitrogen, quantitative seeding was performed from soil dilutions in sterile 0.9% saline solution on a commercial standardized medium nutrient agar (M001) from Himedia (India). As a result of scientific research, in most experimental groups there was a decrease in the number of the main soil representatives of microorganisms, which may be a consequence of exposure to hydrocarbons.

**Key words:** rocket fuel, hydrocarbon, soil, fungi, microorganisms, bacteria.

Е.А. Бекешев<sup>1,2\*</sup>, А.М. Бапышев<sup>2</sup>, Е.Ю. Степанова<sup>2</sup>,  
А.Б. Джумагазиева<sup>3</sup>, Қ.Б. Бекешева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>Алматы қ. «Инфракос» РМК филиалы, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>3</sup>«С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті» КЕАК, Қазақстан, Алматы қ.

\*e-mail: Chemist\_e@mail.ru

### Топырақтың микробтық флорасына мұнай өнімдерінің әсерін зерттеу

Зерттеу топырақ биоценозының негізгі өкілдерінің сандық және сапалық құрамымен және ферменттердің белсенділігімен көрсетілген топырақтағы көмірсутекті зымыран отындарының әртүрлі концентрациясының әсерін бағалауға арналған. Ол үшін К1, Т-1-1, Т-1-2, Т-1-3, Т-1-4, Т-1-5, РГ-1-1, РГ-1-2, РГ-1-3, РГ-1-4, РГ-1-5 шифрларымен Т-1 және РГ-1 маркалы зымырандық көмірсутекті отынмен өңделген топырақтың 11 үлгісінде топырақ микрофлорасының сапалық және сандық құрамына микробиологиялық зерттеулер жүргізілді. Топырақтың микробиологиялық белсенділігін бағалау 1 грамм топырақтағы колония түзуші бірліктердегі (КТБ) микроорганизмдер санының көрсеткіштері негізінде жүргізілді. Микроорганизмдердің санын анықтау стерильді 0,9% физиологиялық ерітіндіде дәйекті 10 есе еріту және оларды агарды қоректік ортаға себу, содан кейін өскен колонияларды санау арқылы жүргізілді. Органикалық азотта өсетін жалпы микробтық санды (ЖМС) анықтау үшін Himedia (Үндістан) компаниясының коммерциялық стандартталған қоректік агары (M001) ортасында стерильді 0,9% физиологиялық ерітіндіде топырақ езінділерінен сандық себу жүргізілді. Жүргізілген ғылыми зерттеулердің нәтижесінде эксперименттік топтардың көпшілігінде микроорганизмдердің негізгі топырақ өкілдерінің санының төмендеуі байқалды, бұл көмірсутектердің әсерінен болуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** зымыран отыны, көмірсутек, топырақ, саңырауқұлақтар, микроорганизмдер, бактериялар.

### Введение

В последнее время потенциал углеводородных загрязнителей привлекает все большее внимание, вызывая особую озабоченность в водной, морской и наземной среде. Исследования показали, что углеводороды могут оказывать существенное негативное воздействие на экосистемы [1]. Углеводородное загрязнение приводит к ухудшению функционирования экосистемы, ее живых (фауны) и неживых компонентов [2]. Кроме того, когда углеводороды попадают в почву, они могут препятствовать снабжению водой, питательными веществами, кислородом, светом и другими веществами биологических процессов. Это может повлиять на плодородие почвы (рост растений и всхожесть семян) и, следовательно, на продуктивность сельского хозяйства [3, 4, 14]. Углеводородные загрязнения вызывают немедленные или скрытые эффекты, такие как генетические мутации, иммунотоксичность, тератогенность, канцерогенез, высокий потенциал биоаккумуляции, а также ухудшение функционирования экосистемы и нарушения жизни животных и растений [5]. Ксенобиотическая форма углеводородов также может сорбироваться в богатых органикой почвах и отложениях, накапливаться в организмах (рыбах,

растениях и других организмах), передаваться в пищевую цепь и сильно нарушать воздействие подвергшихся воздействию организмов [3]. Кроме того, углеводородное загрязнение и его токсичность уменьшают видовое богатство, однородность и филогенетическое разнообразие, в результате чего сообщество оказывается в загрязненной почвенной среде [6].

Бактериальный метаболический потенциал с разнообразными и соответствующими метаболическими путями является ключевым фактором деградации, трансформации и минерализации различных углеводородных загрязнителей в почве [7]. Виды микробов, способные утилизировать токсичные загрязнения, становятся доминирующими на загрязненных территориях [8, 15-18]. Они также развивают эффективную катаболическую активность путем синтеза внутриклеточных или внеклеточных ферментов, специфичных для широкого спектра субстратов: каталаз, оксигеназ (монооксигеназ и диоксигеназ), дегидрогеназ, целлюлаз, гидролаз, протеаз и др. [9, 10, 19]. Эти ферменты были идентифицированы в различных родах бактерий, таких, как *Pseudomonas spp.*, *Sphingomonas spp.*, *Comamonas spp.*, *Alcaligenes spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Burkholderia spp.*, *Rhodococcus spp.*, *Nocardioideis spp.*, *Mycobacterium spp.*, *Klebsiella pneumoniae*.

*Enterobacter cloacae*, *Bacillus spp.* и *Burkholderia spp.* [11, 20-22].

Биологическая активность почвы, включая почвенную микробную биомассу и ферментативную активность, находится под влиянием ряда физико-химических, экологических параметров [12, 23-25]. Поэтому микробная активность почвы обычно используется для оценки ее загрязненности.

Основной целью данного исследования является оценка влияния различных концентраций углеводов в почве, выраженная в количественном и качественном составе основных представителей почвенного биоценоза и активности ферментов.

Для этого проведены микробиологические исследования качественного и количественного состава почвенной микрофлоры в 11-ти образцах почвы, обработанных ракетными углеводородными топливами, с шифрами К1, Т-1-1, Т-1-2, Т-1-3, Т-1-4, Т-1-5, РГ-1-1, РГ-1-2, РГ-1-3, РГ-1-4, РГ-1-5.

### Материалы и методы исследования

Для микробиологических исследований было доставлено 11 образцов почв. Все 11 образцов были обработаны различными концентрациями углеводов:

Т-1-1 (108,5 мг/кг), Т-1-2 (587,5 мг/кг), Т-1-3 (1087,5 мг/кг), Т-1-4 (4625,0 мг/кг), Т-1-5 (14925,0 мг/кг), РГ-1-1 (84,75), РГ-1-1 (600,0), РГ-1-1 (895,0), РГ-1-1 (4325,0), РГ-1-1 (5800,0), Контроль (1,08).

Работа с образцами была начата сразу после доставки образцов в лабораторию.

Оценку микробиологической активности почвы производились на основе показателей численности микроорганизмов, выраженных в колониобразующих единицах (КОЕ) на 1 грамм почвы:

- общее микробное число (ОМЧ), включало: число микроорганизмов, выросших на среде общего назначения (МПА), число аммонизирующих бактерий, выросших на среде (пептон – 10 г/л;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 2 г/л;  $\text{NaCl}$  – 3 г/л;  $\text{pH} = 7,8$ ), числа нитрифицирующих бактерий, выросших на среде ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 2,0 г/л;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  – 1,0 г/л;  $\text{MgSO}_4$  – 0,5 г/л;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,01 г/л;  $\text{NaCl}$  – 2,0 г/л;  $\text{CaCO}_3$  – 1,0 г/л;  $\text{pH} = 7,5$ ).

- число актиномицетов, выросших на крахмально-казеиновой среде;

- микроскопических грибов, выросших на среде Сабуро с хлорамфениколом;

- споровых микроорганизмов, число микроорганизмов, выросших на среде CHROMagar Orientation, после предварительного нагрева на водяной бане при 80°C в течение 20 минут.

Взвешивание почвенных образцов проводили на аналитических весах ALC-210.4 (Sartorius, Германия).

Определение численности микроорганизмов проводилось путем ряда последовательных 10-ти кратных разведений в стерильном 0,9 %-ном физиологическом растворе и высева их в агаризованные питательные среды с последующим подсчетом выросших колоний.

Для определения общего микробного числа (ОМЧ), растущих на органическом азоте, производились количественный высева из разведений почв в стерильном 0,9 %-ном физиологическом растворе на коммерческой стандартизированной среде питательный агар (M001) компании Himedia (Индия).

Для выявления количества спорообразующих микроорганизмов высева почв проводились после их предварительного прогрева на водяной бане в течение 20 мин при температуре  $80 \pm 1$  °C.

Для определения численности актиномицетов использовались крахмально-казеиновую среду, имеющую следующий состав: крахмал растворимый – 10,0 г/л, казеин – 0,3 г/л,  $\text{KNO}_3$  – 2,0 г/л,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,05 г/л,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 2,0 г/л,  $\text{NaCl}$  – 2,00 г/л,  $\text{CaCO}_3$  – 0,02 г/л,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,01 г/л, Агар бактериологический – 18,0 г/л.

Для определения численности микроскопических грибов на стандартизированной коммерческой среде использовались агар Сабуро с хлорамфениколом (M1067) компании Himedia (Индия).

Культивирование микроорганизмов проводилось в термостате (Binder, Германия) при температуре  $-37 \pm 1$  °C в течение 3 суток для бактерий, при  $22 \pm 1$  °C в течение 7 суток для выявления актиномицетов и микроскопических грибов.

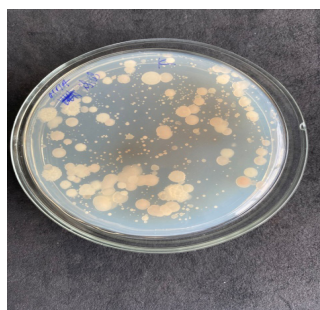
По окончании времени культивирования проводились прямой подсчет выросших колоний на счетчике колоний Scan100 (Interscience, Франция).

### Результаты исследования и их обсуждение

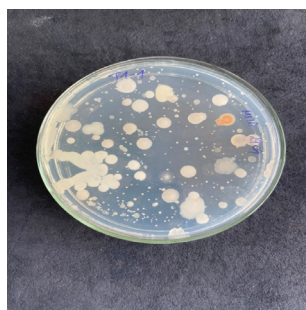
Во всех исследуемых образцах почв, выявлено разнообразие микроорганизмов в том числе микроскопических грибов, актиномицетов и споровых форм бактерий. Результаты исследований представлены в таблицах 1-2 и на рисунках 1-4.

В контрольном образце почвы (Контроль) средний показатель ОМЧ (включая аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии) соответствует значению 206,25 тыс. КОЕ/г, акти-

номицеты составляют 87,750 тыс. КОЕ/г. Кроме того обнаружены микроскопические грибы в количестве 12,360 тыс. КОЕ/г и споровые бактерии – 119,50 тыс. КОЕ/г.



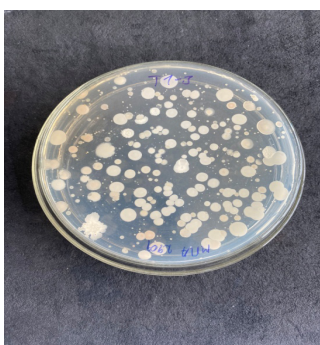
а) Контроль



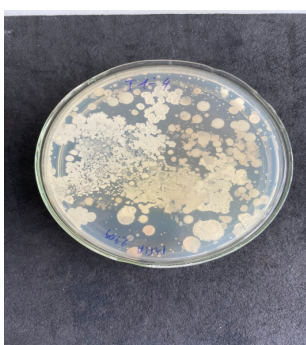
б) Т-1-1



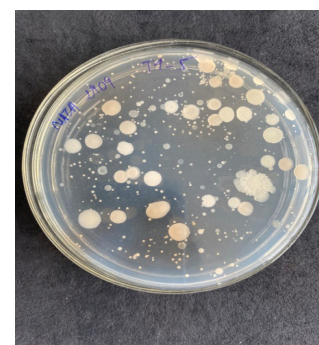
в) Т-1-2



г) Т-1-3



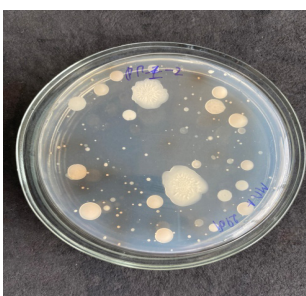
д) Т-1-4



е) Т-1-5



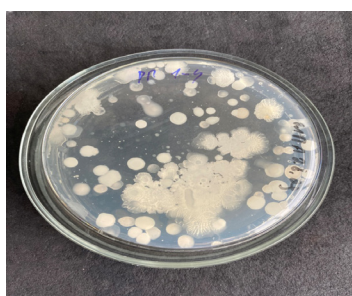
ж) РГ-1-1



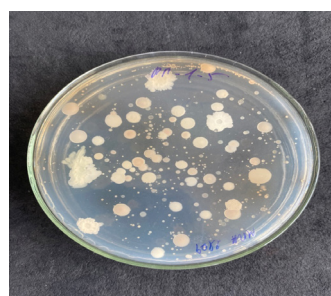
з) РГ-1-2



и) РГ-1-3



к) РГ-1-4



л) РГ-1-5

Рисунок 1 – Показатели ОМЧ (на МПА) в исследуемых образцах почв

Отмечено, что при внесении в образцы почвы различных концентраций углеводородов наблюдается тенденция снижения общей численности микроскопических грибов и общего числа бактерий во всех экспериментальных образцах. Количество актиномицетов и микроскопических грибов также снижаются в отдельных группах, однако не наблюдается дозозависимого эффекта.

Показатель ОМЧ (включая аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии), в образце Т-1-1 снижается на 42 %, в образце Т-1-2 на

28 %, образцах Т-1-3, Т-1-4 и Т-1-5 – на 40 %, 3% и 41 %, соответственно.

В образцах РГ-1-1, РГ-1-2, РГ-1-3 и РГ-1-4 процент снижения количества ОМЧ (включая аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии) варьирует от 40 % до 58 %. В образце РГ-1-5 отмечается наименьшее снижение данного показателя – 15 %.

Результаты определения показателя общего числа микроскопических грибов представлены на рисунке 2 (а-л).

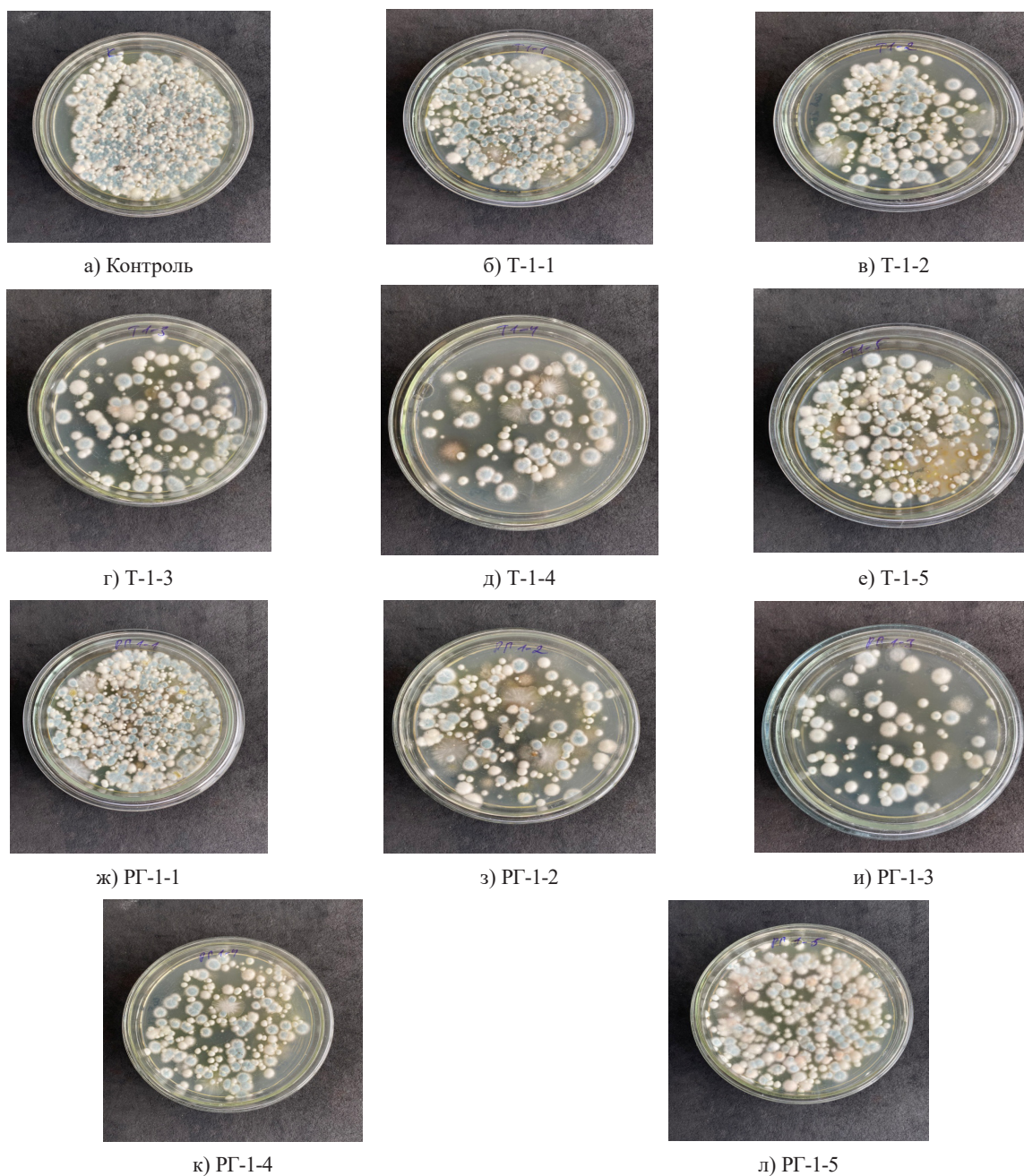


Рисунок 2 – Показатель общего числа микроскопических грибов в исследуемых образцах почв

По результатам проведенных исследований установлено, что во всех образцах почвы (контрольного и экспериментальных) обнаруживаются микроскопические грибы, представленные родами *Penicillium*, *Aspergillum*, *Mucor*, *Trichoderma* и др. Однако, по сравнению с количеством выросших грибов из контрольного образца почвы, данный показатель значительно снижен (от 43 % до 75 %) во всех экспериментальных образцах.

В количественном выражении наименьшее число микроскопических грибов выявлено в об-

разцах Т-1-3 (4,37 тыс. КОЕ/г), Т-1-4 (4,08 тыс. КОЕ/г), РГ-1-2 (3,51 тыс. КОЕ/г) и РГ-1-4 (4,58 тыс. КОЕ/г). Наибольшая численность грибных КОЕ была выявлена в образцах почв РГ-1-1 и РГ-1-5 и составила 7,05 тыс. КОЕ/г и 6,08 тыс. КОЕ/г, соответственно. В образцах почвы Т-1-1, Т-1-2, Т-1-5 и РГ-1-3 число микроскопических грибов находилось в пределах – 5,0-5,85 тыс. КОЕ/г.

На рисунке 3 (а-л) представлены результаты определения числа актиномицетов в образцах контрольной и экспериментальных почв.

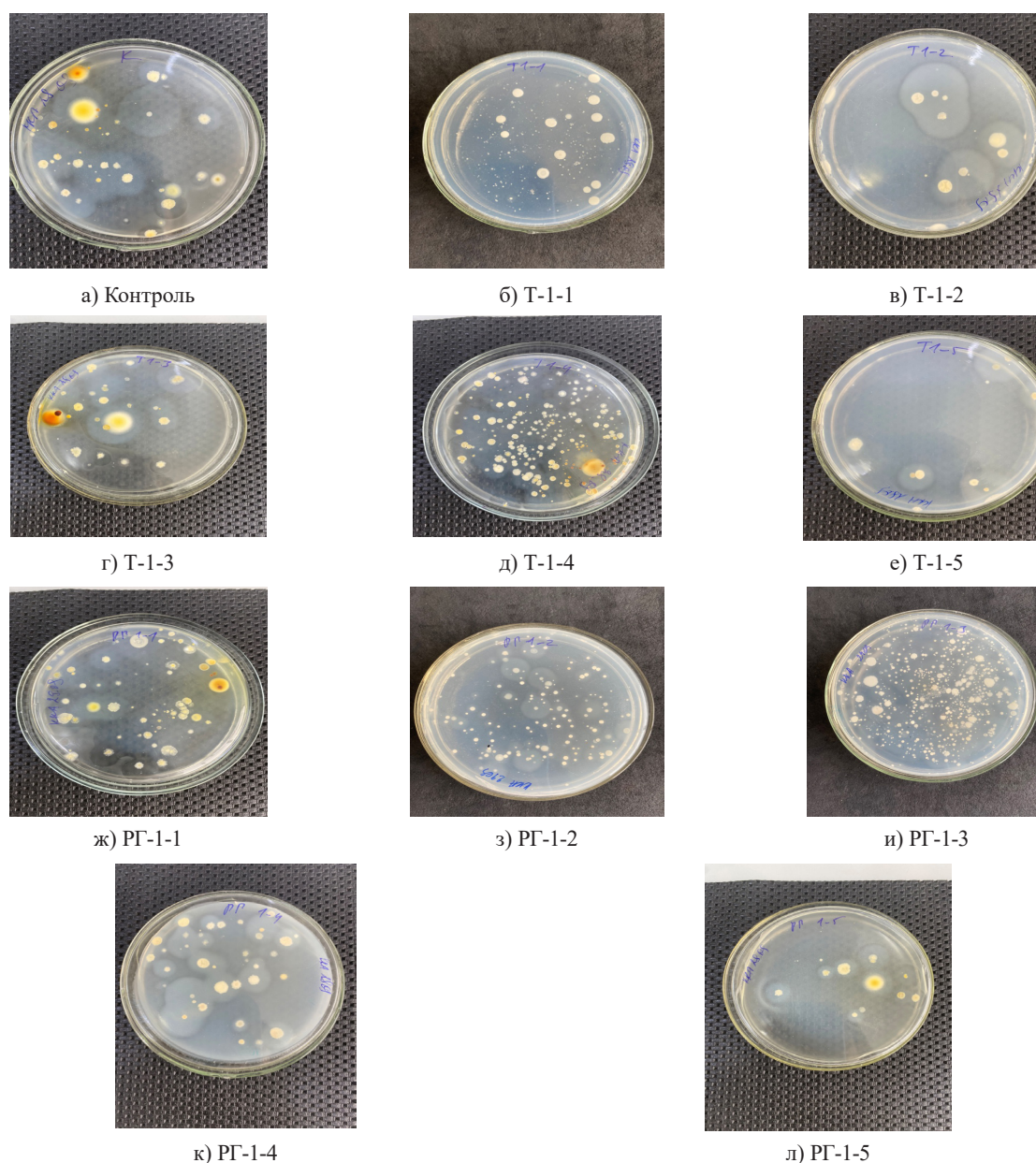


Рисунок 3 – Общее количество актиномицетов в исследуемых образцах почвы

Во всех мониторинговых и контрольном образце почв обнаружены актиномицеты. В 6 из 10 образцов почв, подвергнутых воздействию различных концентраций углеводородов, наблюдается снижение содержания актиномицетов, однако дозозависимой корреляции не наблюдается.

Так, количество актиномицетов в образце Т-1-1 снижается на 14 %, в образце Т-1-2 на 11 %, образцах Т-1-3 и Т-1-5 – на 5 % и 10 %, соответственно. Обратный эффект – увеличение количественного содержания актиномицетов на-

блюдается в образце Т-1-4 и составляет 41 %, по отношению к контролю.

В образцах РГ-1-1, РГ-1-2 и РГ-1-3 наблюдается увеличение количества актиномицетов. Данный показатель варьирует от 7 % до 62 %. В образцах РГ-1-4 и РГ-1-5 отмечается наименьшее снижение данного показателя на 3 % и 2 %.

На рисунке 4 (а-л) представлены результаты определения числа споровых бактерий в образцах контрольной и мониторинговых участках почвы.

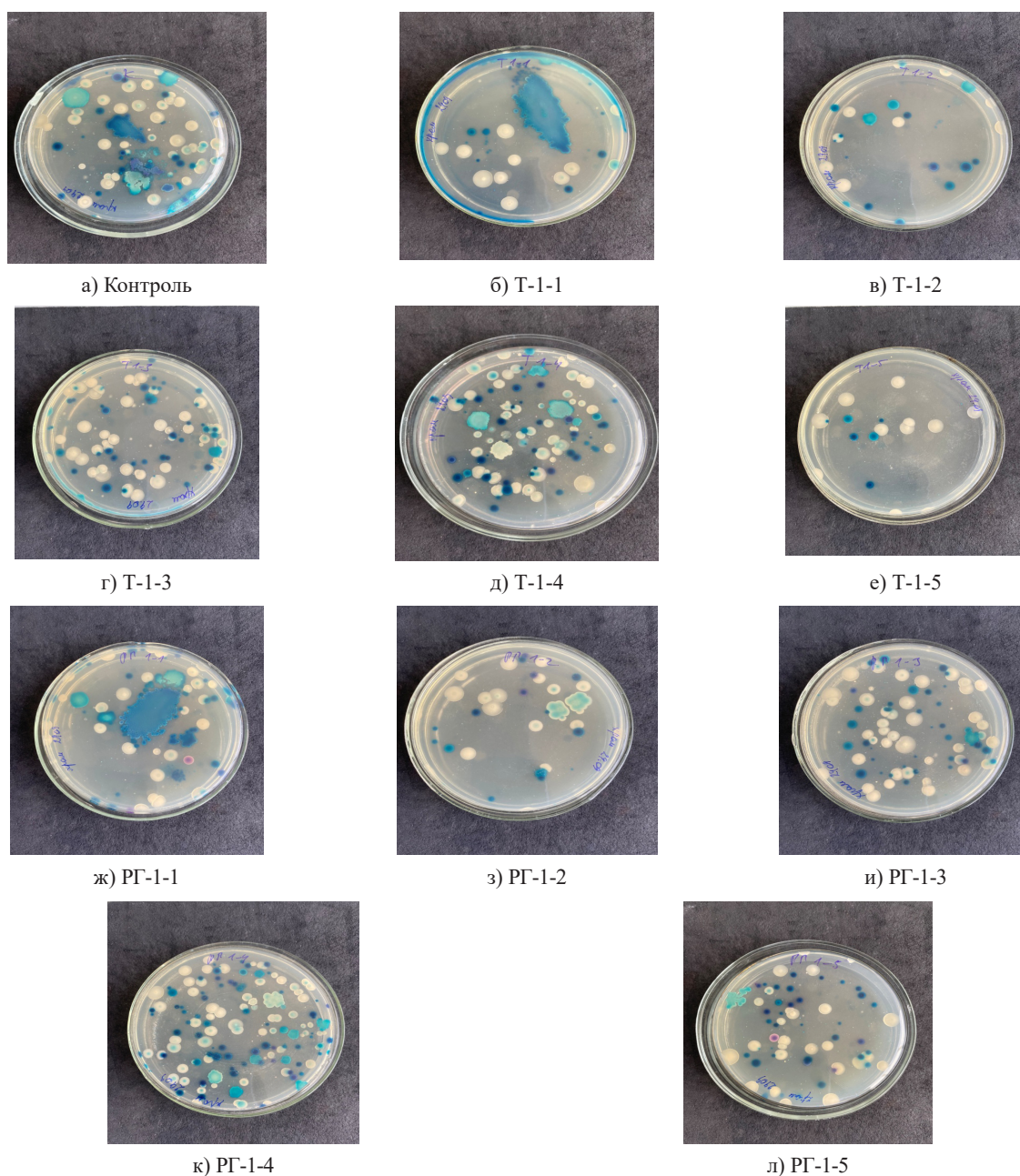


Рисунок 4 – Общее количество споровых бактерий в исследуемых образцах почвы

Результаты исследования показали, что наибольшее количество спорных бактерий обнаружено в образцах почв Т-1-3, Т-1-4 и РГ-1-4 – 123,50 тыс. КОЕ/г, 122,25 тыс. КОЕ/г и 127,0 тыс. КОЕ/г что на 3%, 2% и 6% больше, чем в контроле. Необходимо отметить, что увеличение доли спорных микроорганизмов в данных образцах, может указывать на ухудшение условий жизни в почве. В образцах Т-1-1, Т-1-2, Т-1-5, РГ-1-2 и РГ-1-5 зафиксировано наименьшее количество спорных бактерий – 39,250 тыс. КОЕ/г, 84,00тыс. КОЕ/г, 86,00 тыс. КОЕ/г, 89,50 тыс. КОЕ/г и 91,50 тыс. КОЕ/г, соответственно.

В контрольном образце почвы количество спорных бактерий соответствовало значению 119,50 тыс. КОЕ/г. Увеличение доли спорных микроорганизмов в данных образцах указывает на ухудшение условий жизни в почве. Это указывает на то что в экспериментальных группах наблюдается снижение численности основных почвенных представителей микроорганизмов, что может являться следствием воздействия углеводов.

В таблице 2 указан процент (увеличения/уменьшения) микроорганизмов экспериментальных образцов по сравнению с контрольным (Контроль) значением численности микроорганизмов.

**Таблица 1** – Количественный и качественный состав почвенных микроорганизмов в образцах мониторинговых и контрольных участков

Шифр образца почвы	ОМЧ (включая аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии), тыс. КОЕ/г	Микроскопические грибы, тыс. КОЕ/г	Актиномицеты, тыс. КОЕ/г	Спорные бактерии, тыс. КОЕ/г	Целлюлозолитические бактерии, тыс. КОЕ/г	
Контрольная почва						
Контроль	206,25±0,057	12,360±0,240	87,750±0,003	119,50±0,017	23,75±8,13	
Экспериментальные образцы почвы						
1	Т-1-1	119,75±0,210	5,620±0,035	75,50±0,011	39,250±0,042	3,75±1,8
2	Т-1-2	147,75±0,023	5,110±0,017	78,50±0,005	84,00±0,014	4,25±1,8
3	Т-1-3	124,75±0,166	4,370±0,009	83,50±0,204	123,50±0,048	15,75±9,5
4	Т-1-4	201,50±0,044	4,080±0,011	147,75±0,297	122,25±0,007	9,50±2,8
5	Т-1-5	123,50±0,199	5,250±0,009	79,750±0,002	86,00±0,005	3,25±2,8
6	РГ-1-1	124,25±0,180	7,050±0,003	94,00±0,325	101,25±0,019	4,25±1,8
7	РГ-1-2	115,50±0,039	3,510±0,008	118,25±0,081	89,50±0,015	4,50±3,2
8	РГ-1-3	87,500±0,071	5,850±0,146	229,25±0,006	109,25±0,026	4,75±2,1
9	РГ-1-4	105,75±0,028	4,580±0,026	85,50±0,028	127,00±0,018	11,00±7,1
10	РГ-1-5		6,080±0,240	86,50±0,005	91,50±0,024	5,250±1,8

**Таблица 2** – Процент увеличения/уменьшения микроорганизмов экспериментальных образцов почвы по отношению к контрольному образцу

Показатель	Исследуемые образцы почвы									
	Т-1-1	Т-1-2	Т-1-3	Т-1-4	Т-1-5	РГ-1-1	РГ-1-2	РГ-1-3	РГ-1-4	РГ-1-5
ОМЧ (в том числе нитрифицирующие и аммонифицирующие), тыс. КОЕ/г										
Процент увеличения (↑)/снижения (↓) показателя по отношению к контрольному образцу почвы, %	42↓	28↓	40↓	3↓	41↓	40↓	44↓	58↓	49↓	15↓
Актиномицеты, тыс. КОЕ/г										
Процент увеличения (↑)/снижения (↓) показателя по отношению к контрольному образцу почвы, %	14↓	11↓	5↓	41↑	10↓	7↑	26↑	62↑	3↓	2↓



Продолжение таблицы

Показатель	Исследуемые образцы почвы									
	T-1-1	T-1-2	T-1-3	T-1-4	T-1-5	РГ-1-1	РГ-1-2	РГ-1-3	РГ-1-4	РГ-1-5
Микроскопические грибы, тыс. КОЕ/г										
Процент увеличения (↑)/снижения (↓) показателя по отношению к контрольному образцу почвы, %	55↓	59↓	75↓	67↓	58↓	43↓	72↓	53↓	63↓	51↓
Целлюлозолитические бактерии, тыс. КОЕ/г										
Процент увеличения (↑)/снижения (↓) показателя по отношению к контрольному образцу почвы, %	85↓	82↓	34↓	60↓	86↓	82↓	81↓	80↓	54↓	78↓
Споровые бактерии, тыс. КОЕ/г										
Процент увеличения (↑)/снижения (↓) показателя по отношению к контрольному образцу почвы, %	67↓	30↓	3↑	2↑	28↓	15↓	25↓	9↓	6↑	23↓

Из данных, представленных в таблице 2 видно, что в большинстве экспериментальных групп наблюдается снижение численности основных почвенных представителей микроорганизмов, что может являться следствием воздействия углеводов. Следует также учитывать, что в сообществах почвенных микроорганизмов, особенно при воздействии ксенобиотиков, происходят сукцессии, занимающие по времени от десятков часов до первых десятков суток, в ходе которых может существенно меняться и суммарная численность микроорганизмов, и соотношение представителей различных эколого-трофических групп. В исследованиях Т.Р. Кабирова также установлено, что нефть при внесении в почву оказывает на микроорганизмы угнетающее действие, пропорциональное концентрации загрязнителя. Наиболее быстро гетеротрофная часть микробного комплекса восстанавливается при малой концентрации загрязнителя (1%). Углеводы нефти, попавшие в почву, могут, вероятно, использоваться как свежий органический материал, что и обуславливает экологическую сукцессию. При средних и высоких концентрациях нефти такого эффекта не наблюдается, так как токсический пресс большого количества поллютанта перекрывает возможную выгоду от утилизации его компонентов, и восстановление численности гетеротрофов происходит медленно [13].

### Заключение

При внесении в образцы почвы различных концентраций углеводов наблюдается тенденция снижения общей численности ОМЧ (в том числе аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий), целлюлозолитических бактерий и микроскопических грибов во всех экспериментальных образцах. Количество актиномицетов и микроскопических грибов также снижаются в отдельных группах, однако не наблюдается дозозависимого эффекта.

Эти данные могут быть использованы при экологическом нормировании содержания нефтепродуктов в почве и проведении оценки экологического ущерба, наносимого окружающей среде при нефтяном загрязнении.

### Благодарность

*Исследования проведены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках гранта № AP19679969 «Исследование процессов идентификации ракетного углеводородного топлива в почвах районов эксплуатации ракетносителей и разработка их гигиенического норматива», послужат основой разработки нормативной методической базы.*

## Литература

1. H. Ben Ayed, N. Jemil, H. Maalej, A. Bayouh, N. Hmidet, and M. Nasri. Enhancement of solubilization and biodegradation of diesel oil by biosurfactant from *Bacillus amyloliquefaciens* An6 // *International Biodeterioration and Biodegradation*. – 2015. – Vol. 99. – P. 8-14.
2. A. M. A. Essabri, N. P. Aydinlik, and N. E. Willia. Bioaugmentation and biostimulation of total petroleum hydrocarbon degradation in a petroleum-contaminated soil with fungi isolated from olive oil effluent // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2019. – Vol. 230, No. 76. – P. 1–16.
3. S. K. Singh and A. K. Haritash. Polycyclic aromatic hydrocarbons: soil pollution and remediation // *International journal of Environmental Science and Technology*. – 2019. – Vol. 16, No. 10. – P. 6489-6512.
4. S. Varjani and V. N. Upasani. Influence of abiotic factors, natural attenuation, bioaugmentation and nutrient supplementation on bioremediation of petroleum crude contaminated agricultural soil // *Journal of Environmental Management*. – 2019. – Vol. 245. – P. 358-366.
5. K. Prathyusha, Y. S. Y. V. Jagan Mohan, S. Sridevi, and B. V. Sandeep. Isolation and characterization of petroleum hydrocarbon degrading indigenous bacteria from contaminated sites of Visakhapatnam // *International Journal of Advanced Research*. – 2016. – Vol. 4. – No. 3. – P. 357-362.
6. X. Xu, W. Liu, S. Tian et al. Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis // *Frontiers in Microbiology*. – 2018. – Vol. 9. – P. 1-11.
7. H. Rhabal, S. Souabi, M. Safi et al. Soils bioremediation of hydrocarbons and green waste elimination through composting process // *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*. – 2014. – Vol. 2. – No. 6. – P. 13–22.
8. M. Chen, P. Xu, G. Zeng, C. Yang, D. Huang, and J. Zhang. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs // *Biotechnology Advances*. – 2015. – Vol. 33. – No. 6. – P. 745–755.
9. D. K. Chaudhary and J. Kim. New insights into bioremediation strategies for oil-contaminated soil in cold environments // *International Biodeterioration and Biodegradation*. – 2019. – Vol. 142. – P. 58–72.
10. S. Sihag, H. Pathak, and D. P. Jaroli. Factors affecting the rate of biodegradation of polyaromatic hydrocarbons // *International Journal of Pure and Applied Bioscience*. – 2014. – Vol. 2. – No. 3. – P. 185–202.
11. G. Zafra, R. Regino, B. Agualimpia, and F. Aguilar. Molecular characterization and evaluation of oil degrading native bacteria isolated from automotive service station oil contaminated soils // *Chemical Engineering Transactions*. – 2016. – Vol. 49. – P. 511–516.
12. Labud, C. Garcia, T. Hernandez. Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil // *Chemosphere*. – 2007. – Vol. 66. – P. 1863-1871.
13. Киреева Н.А., Галимзянова А.М., Мифтахова А.М. Микромицеты почв, загрязненных нефтью, и их фитотоксичность // *Микология и фитопатология*. – 2000. – Т. 34. – №. 1. – С. 36–41.
14. B. M. Macaulay. Understanding the behavior of oil degrading microorganisms to enhance the microbial remediation of spilled Petroleum // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2014. – Vol. 13. – No. 1. – P. 247–262.
15. S. J. Varjani. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons // *Bioresource Technology*. – 2017. – Vol. 223. – P. 277–286.
16. Alamri S.A. Development and application of a microbiologically based tool kit to predict and monitor petroleum hydrocarbon bioremediation (Ph.D. thesis) // University of Aberdeen. – 2006.
17. M.T. Balba, N. Al-Awadhi, R. Al-Daher. Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation // *J. Microbiol. Methods*. – 1998. – Vol. 32. – P. 155-164.
18. O.C. Turgay, E.E. Erdogan, A. Karaca. Effect of humic deposit (leonardite) on degradation of semi-volatile and heavy hydrocarbon and soil quality in crude-oil contaminated soil // *Environ. Monit. Assess.* – 2010. Vol. 170. – P. 45-58.
19. A. Serrano, M. Tejada, M. Gallego, J.L. Gonzalez. Evaluation of soil biological activity after a diesel fuel spill // *Sci. Total Environ.* – 2009. – Vol. 407. – P. 4056-4061.
20. J.J.C. Dawson, E.J. Godsiffe, I.P. Thompson, T.K. Ralebitso-Senior, K.S. Killham, G.I. Paton. Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils // *Soil Biol. Biochem.* – 2007. – Vol. 39. – P. 164-177.
21. F. Camiña, C. Trasar-Cepeda, F. Gil-Sotres, C. Leirós. Measurement of dehydrogenase activity in acid soils rich in organic matter // *Soil Biol. Biochem.* – 1998. – Vol. 30. – P. 1005-1011.
22. L.J. Shaw, R. Burns. Enzyme activity profiles and soil quality // *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, SABI Publishing, Cambridge, MA. – 2006. – Vol. 21. P. 158-182.
23. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. 2015. №2 (78). – С. 14-24.
24. Безуглова О.С., Наими О.И., Полиенко Е.А., Лыхман В.А., Дубинина М.Н., Поволоцкая Ю.С., Патрикеев Е.С. Ферментативная активность чернозема обыкновенного при разложении соломы в почве // *Успехи современного естествознания*. – 2019. – № 12-2. – С. 199-204.
25. Куликова А.Х., Антонова С.А., Козлов А.В. Ферментативная активность почвы в зависимости от системы удобрения // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 4 (40). С. 36–43.

## References

1. A. M. A. Essabri, N. P. Aydinlik, and N. E. Willia. (2019) Bioaugmentation and biostimulation of total petroleum hydrocarbon degradation in a petroleum-contaminated soil with fungi isolated from olive oil effluent. *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 230, No. 76, pp. 1–16.
2. Alamri S.A. (2006) Development and application of a microbiologically based tool kit to predict and monitor petroleum hydrocarbon bioremediation, (*Ph.D. thesis*) University of Aberdeen.
3. A. Serrano, M. Tejada, M. Gallego, J.L. Gonzalez (2009) Evaluation of soil biological activity after a diesel fuel spill. *Sci. Total Environ.*, Vol. 407, pp. 4056-4061.
4. Bezuglova O.S., Naimi O.I., Poliyenko Ye.A., Lykhman V.A., Dubinina M.N., Povolotskaya YU.S., Patrikeyev Ye.S. (2019) Fermentativnaya aktivnost chernozema obyknovennogo pri razlozhenii solomy v pochve. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, № 12-2, pp. 199-204.
5. B. M. Macaulay. (2014) Understanding the behavior of oil degrading microorganisms to enhance the microbial remediation of spilled Petroleum. *Applied Ecology and Environmental Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 247–262.
6. D. K. Chaudhary and J. Kim. (2019) New insights into bioremediation strategies for oil-contaminated soil in cold environments. *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 142, pp. 58–72.
7. F. Camiña, C. Trasar-Cepeda, F. Gil-Sotres, C. Leirós. (1998) Measurement of dehydrogenase activity in acid soils rich in organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, Vol. 30, pp. 1005-1011.
8. G. Zafra, R. Regino, B. Agualimpia, and F. Aguilar. (2016) Molecular characterization and evaluation of oil degrading native bacteria isolated from automotive service station oil contaminated soils. *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 49, pp. 511–516.
9. H. Ben Ayed, N. Jemil, H. Maalej, A. Bayouhd, N. Hmidet, and M. Nasri. (2015) Enhancement of solubilization and biodegradation of diesel oil by biosurfactant from *Bacillus amyloliquefaciens* An6 // *International Biodeterioration and Biodegradation*. – Vol. 99. – P. 8-14.
10. H. Rhal, S. Souabi, M. Safi et al. (2014) Soils bioremediation of hydrocarbons and green waste elimination through composting process. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, Vol. 2, No. 6, pp. 13–22.
11. J.J.C. Dawson, E.J. Godsiffe, I.P. Thompson, T.K. Ralebitso-Senior, K.S. Killham, G.I. Paton. (2007) Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils. *Soil Biol. Biochem.*, Vol. 39, pp. 164-177.
12. K. Prathyusha, Y. S. Y. V. Jagan Mohan, S. Sridevi, and B. V. Sandeep. (2016) Isolation and characterization of petroleum hydrocarbon degrading indigenous bacteria from contaminated sites of Visakhapatnam // *International Journal of Advanced Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 357-362.
13. Kireeva N.A., Galimzyanova A.M., Miftaxova A.M. (2000) Mikromitsety pochv, zagryaznennykh neftyu, i ikh fitotoksinost. *Mikologiya i fitopatologiya*. Vol. 1, pp. 36–41.
14. Khaziev F.X. (2015) Funktsional'naya rol' fermentov v pochvennykh protsessakh // *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*. №2 (78), pp. 14-24.
15. Kulikova A.KH., Antonova S.A., Kozlov A.V. (2017) Fermentativnaya aktivnost' pochvy v zavisimosti ot sistemy udobreniya // *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. № 4 (40). pp. 36–43.
16. Labud, C. Garcia, T. Hernandez. (2007) Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. *Chemosphere*, Vol. 66, pp. 1863-1871.
17. L.J. Shaw, R. Burns. (2006) Enzyme activity profiles and soil quality. *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, CABI Publishing, Cambridge, MA, Vol. 21, pp. 158-182.
18. M. Chen, P. Xu, G. Zeng, C. Yang, D. Huang, and J. Zhang. (2015) Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, Vol. 33, No. 6, pp. 745–755.
19. M.T. Balba, N. Al-Awadhi, R. Al-Daher. (1998) Bioremediation of oil-contaminated soil: microbiological methods for feasibility assessment and field evaluation. *J. Microbiol. Methods*, Vol. 32, pp. 155-164.
20. O.C. Turgay, E.E. Erdogan, A. Karaca. (2010) Effect of humic deposit (leonardite) on degradation of semi-volatile and heavy hydrocarbon and soil quality in crude-oil contaminated soil. *Environ. Monit. Assess.*, Vol. 170, pp. 45-58.
21. S. K. Singh and A. K. Haritash. (2019) Polycyclic aromatic hydrocarbons: soil pollution and remediation. *International journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 16, No. 10, pp. 6489-6512.
22. S. Varjani and V. N. Upasani. (2019) Influence of abiotic factors, natural attenuation, bioaugmentation and nutrient supplementation on bioremediation of petroleum crude contaminated agricultural soil. *Journal of Environmental Management*, Vol. 245, pp. 358-366.
23. S. Sihag, H. Pathak, and D. P. Jaroli. (2014) Factors affecting the rate of biodegradation of polyaromatic hydrocarbons. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, Vol. 2, No. 3, pp. 185–202.
24. S. J. Varjani. (2017) Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, Vol. 223, pp. 277–286.
25. X. Xu, W. Liu, S. Tian et al. (2018) Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 9, pp. 1-11.

**Сведения об авторах:**

Ерлан Бекешев<sup>1,2</sup> (автор корреспондент) – Докторант Алматинского университета энергетики и связи им. Г. Даукеева (г. Алматы, Казахстан); 2Директор Филиала РГП «Инфракос» в г. Алматы (г. Алматы, Казахстан, e-mail: Chemist\_e@mail.ru).

Ақылбек Бапышев – начальник отдела Филиала РГП «Инфракос» в г.Алматы (г.Алматы, Казахстан, e-mail: ako-bapyshev@mail.ru).

Елена Степанова – заместитель начальника отдела Филиала РГП «Инфракос» в г.Алматы (г. Алматы, Казахстан, e-mail: s.ell@mail.ru).

Ардак Джумагазиева – PhD НАО Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова (г. Алматы, Казахстан, e-mail: r\_dawa@mail.ru).

Құралай Бекешева – PhD НАО Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова (г. Алматы, Казахстан, e-mail: kuralayaryn02@gmail.com).

**Information about authors:**

Yerlan Bekeshev<sup>1,2</sup> (corresponding author) — Doctoral student of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeev (Almaty, Kazakhstan); 2Head of the Almaty branch of RSE «Infracos» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: Chemist\_e@mail.ru).

Akylbek Bapyshev – head of the Department Almaty branch of RSE «Infracos» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: ako-bapyshev@mail.ru).

Yelena Stepanova – deputy head of the Department Almaty branch of RSE «Infracos» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.ell@mail.ru).

Ardak Jumagazyeva – PhD NJSC Asfendiyarov Kazakh National Medical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: r\_dawa@mail.ru).

Bekesheva Kuralay – PhD NJSC Asfendiyarov Kazakh National Medical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: kuralayaryn02@gmail.com).

Поступила 30 ноября 2023 г.

Принята 20 февраля 2024 г.