

BIOREMEDIATION OF HERBICIDE-CONTAMINATED SOILS**P.Sh. Mammadova, E.R. Babayev*, K.R. Qahramanova, F.Q. Mushtagova***A.M. Kuliyev Institute of Chemistry of Additives of Ministry of Sciences and Education
of Azerbaijan Republic, Baku***Corresponding author e-mail: elbeibabaev@yahoo.de*

Abstract. Contamination of soils, groundwater, and surface water with herbicides poses significant cleanup challenges. Currently, the most common approach is containment, which involves expensive disposal of heavily contaminated soils to landfills. Bioremediation methods for in-situ treatment are needed as alternative and/or complementary approaches for cost-effective, waste-free cleanup. Microbes can be used to remediate herbicide-contaminated soil through a process called bioremediation, in which microorganisms degrade or convert contaminants into less harmful ones. This process can occur naturally or be enhanced by adding certain microorganisms or nutrients to the soil. Microorganisms such as bacteria and fungi have enzymes that can break down herbicides into less toxic compounds. They often use these herbicides as a food source. Remediation can be done in situ or by removing the soil for treatment (ex situ). Microbial remediation is influenced by the following factors: microbial activity (the type and number of microorganisms present and their ability to degrade a particular herbicide); environmental conditions (factors such as temperature, humidity, pH, and nutrient availability can affect the growth and activity of microorganisms); herbicide properties (the chemical structure and concentration of the herbicide can affect its biodegradability); soil properties (soil type, organic matter content, and aeration can affect microbial activity and the bioavailability of the herbicide).

Key words: bioremediation, microbes, herbicides, bioavailability, biodegradability, reclamation.

Mammadova Parvin Shamkhal Doctor of Chemical Sciences; E-mail:
*pervin_mammadova@mail.ru***Babayev Elbey Rasim** Candidate of Chemical Sciences; E-mail: *elbeibabaev@yahoo.de***Kahramanova Konul Rasim** Doctorant; E-mail: *qehremanovakr@gmail.com***Mushtagova Fidan Qalib** Doctorant; E-mail: *fidanmushtaqova@gmail.com***БИОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГЕРБИЦИДАМИ****П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев*, К.Р. Каҳраманова, Ф.Г. Муштағова***Институт Химии Присадок имени академика А.М. Кулиева МНО Азербайджана,
Баку, Азербайджан*

Citation: Mammadova P.Sh., Babayev E.R., Kahramanova K.R., Mushtagova F.Q. Bioremediation of herbicide-contaminated soils. *Chem. J. Kaz.*, 2025, 4(92), 52-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2025-4.2710-1185.50>

Резюме. Загрязнение почв, грунтовых и поверхностных вод гербицидами создает серьезные проблемы очистки. В настоящее время наиболее распространенным подходом является локализация, включающая дорогостоящий вывоз сильно загрязненных почв на свалки. Методы биоремедиации для обработки на месте необходимы в качестве альтернативных и/или дополнительных подходов для экономически эффективной и безотходной очистки. Микрофлора может быть использованы для рекультивации почвы, загрязненной гербицидами, посредством процесса, называемого биоремедиацией, в ходе которого микроорганизмы разлагают или преобразуют загрязняющие вещества в менее вредные. Этот процесс может происходить естественным образом или быть усилен путем добавления в почву определенных микроорганизмов или питательных веществ. У микроорганизмов, таких как бактерии и грибы, есть ферменты, способные разлагать гербициды на менее токсичные соединения. Они часто используют эти гербициды в качестве источника питания. Рекультивация может проводиться на месте (*in situ*) или путем удаления почвы для обработки (*ex situ*). На микробную ремедиацию оказывают влияние следующие факторы: микробная активность (тип и численность присутствующих микроорганизмов, а также их способность деградировать конкретный гербицид); условия окружающей среды (такие факторы, как температура, влажность, pH и доступность питательных веществ, могут влиять на рост и активность микроорганизмов), свойства гербицида (химическая структура и концентрация гербицида могут влиять на его биоразлагаемость); свойства почвы (тип почвы, содержание органического вещества и аэрация могут влиять на микробную активность и биодоступность гербицида).

Ключевые слова: биоремедиация, микрофлора, гербициды, биодоступность, биоразлагаемость, рекультивация.

<i>Мамедова Парвин Шамхал кызы</i>	Доктор химических наук
<i>Бабаев Эльбей Расим оглы</i>	Кандидат химических наук
<i>Кахраманова Кенуль Расим кызы</i>	Докторант
<i>Муштагова Фидан Галиб кызы</i>	Докторант

1. Введение

В сельскохозяйственной практике сорняки часто представляют серьезную угрозу урожайности, поэтому широко используются гербициды [1]. Регулярное применение гербицидов может привести к их накоплению в почве и при повышенной концентрации изменяет физико-химические свойства почв, состав микрофлоры и ее активность и, следовательно, урожайность культур. Однако микроорганизмы могут быть толерантными или резистентными (незначительно или совсем не подверженными воздействию) к гербицидам. Таким образом, в последнее время используются различные типы и стратегии биоремедиации почв, загрязненных гербицидами. В этом контексте ризосферные микрофлоры могут метаболизировать гербициды (например, атразин) посредством реакций гидролиза, катализируемых ферментами, с образованием циануровой кислоты в качестве промежуточного продукта, которая затем гидролитически превращается в аммиак и углекислый газ. Гербициды на основе моно- и трихлорфеноксиацетата также кatabолизируются микрофлорами посредством различных ферментативных реакций. Рекультивация может проводиться на месте (*in situ*) или путем удаления почвы для обработки (*ex situ*). К методам *in situ* относятся:

1) Естественное ослабление: основано на существующем микробном сообществе в почве.

2) Биостимуляция: включает в себя добавление питательных веществ (например, удобрений или органических веществ) для стимуляции роста местных микроорганизмов.

3) Биоаугментация: включает в себя введение специфических, отобранных штаммов микроорганизмов с известной способностью к деградации гербицидов.

4) Биовентиляция и биобарботаж: внесение кислорода в почву для повышения микробной активности.

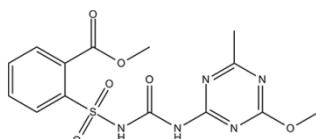
Методы *ex-situ*: предполагают удаление загрязненной почвы и ее обработку в изолированной среде, например, в биореакторе.

2. Анализ результатов исследований

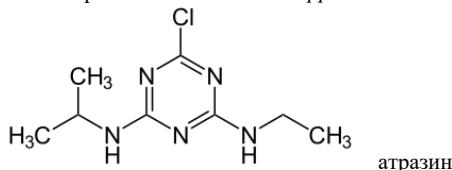
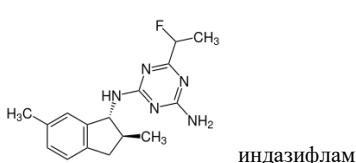
Нерациональное и поспешное развитие человеческого общества во всем мире привело к экологическому распаду [2]. Известно, что чрезмерное использование гербицидов/пестицидов опасно для окружающей среды, влияет на плодородие почв и может оказывать токсическое воздействие на организм. Микробная биоремедиация является наиболее изученным биотехнологическим процессом экологической рекультивации. При благоприятных условиях микробы используют гербициды/пестициды в качестве источника углерода, серы и электронов. Было показано, что токсическое действие хлорсодержащих гербицидов/пестицидов, полихлорированных дифенилов, полициклических ароматических углеводородов и органических фосфорсодержащих соединений нейтрализуется микробами, включая бактерии, актиномицеты и грибы.

Авторы работы [3] сообщают, что высокий спрос на гербициды обусловлен необходимостью увеличения производства сельскохозяйственных культур для удовлетворения мирового спроса. Тем не менее, применение гербицидов имеет негативные последствия, проявляющиеся в селекции устойчивых сорняков, образовании токсичных метаболитов в результате частичного разложения гербицидов, изменении микробных сообществ почвы и биогеохимических циклов, изменении питания растений и плодородия почвы, а также постоянном загрязнении окружающей среды. Некоторые гербициды повреждают нецелевые микроорганизмы посредством направленного вмешательства в метаболизм хозяина и механизмов окислительного стресса. По этим причинам необходимо разработать устойчивые и эффективные методы снижения этих экологических рисков. Прежде чем процесс разложения будет инициирован микробными ферментами и метаболическими путями, микроорганизмам необходимо выдержать окислительный стресс, вызываемый самими гербицидами. Этого можно достичь с помощью сложной системы ферментативных и неферментативных систем антиоксидантного стресса. Многие из этих систем реагирования не являются специфическими для

гербицидов, а активируются различными веществами. В совокупности эти неспецифические системы реагирования повышают потенциал выживания и приспособленности микроорганизмов. Исследования биодеградации и подходы к ремедиации основывались на индивидуально подобранных штаммах для эффективной ремедиации гербицидов в окружающей среде. Тем не менее, было показано, что микробные коммуникационные системы, которые модулируют социальные отношения и метаболические пути внутри структур биопленки среди микроорганизмов, сложны; поэтому использование изолированных штаммов для деградации ксенобиотиков необходимо расширять, используя подход, основанный на сообществе, с интеграцией путей биодеградации. В усилиях по биоремедиации могут использоваться технологии на основе «омики» для более глубокого понимания молекулярных комплексов бактериальных сообществ и достижения более эффективного устранения ксенобиотиков. Благодаря этим знаниям увеличивается возможность изменения микробных сообществ для повышения потенциала биоремедиации без возникновения других воздействий на окружающую среду, не ожидаемых более простыми подходами. Понимание динамики микробных сообществ как в свободноживущей микробиоте, так и в сложных сообществах и биопленках имеет первостепенное значение для достижения этих целей. Также крайне важно, чтобы неразвитые страны, являющиеся крупными производителями продуктов питания и потребителями гербицидов/пестицидов, имели доступ к этим технологиям для достижения устойчивого производства, не вызывая при этом последствий в виде неизвестных побочных эффектов.



метсульфурон-метил

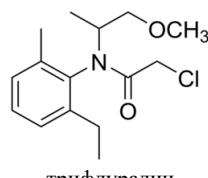
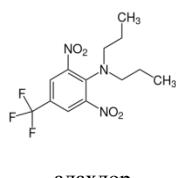
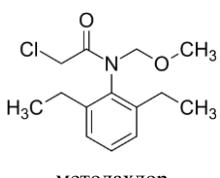
Гербициды индазифлам и атразин снизили развитие *Trichoderma spp.*

Целью работы [4] была оценка потенциала *Trichoderma spp.* в биоремедиации гербицидов и биостимуляции растений в почвах, загрязненных гербицидами. На первом этапе эксперимент следовал полностью рандомизированному дизайну в факторной схеме $4 \times 3 \times 4$ с пятью повторениями, четырьмя штаммами *Trichoderma spp.*, тремя гербицидами и четырьмя дозами гербицидов. Индекс скорости роста

мицелия (MGSI) *Trichoderma spp.* был получен путем выращивания его в чашке Петри с PDA, связанным с различными дозами гербицидов, и оценивался каждые 24 часа в течение 10 дней. Результаты указали на выбор *Trichoderma harzianum T1A* для продолжения эксперимента, поскольку он показал увеличение MGSI с гербицидом метсульфурон-метил.

На втором этапе оценивали огурцы, выращиваемые по схеме, соответствующей трем дозам гербицида метсульфурон-метил, а также с применением и без применения *T. harzianum T1A* в шести горшках с двумя растениями в каждом, всего 12 растений/повторностей на обработку. Параметры хлорофилла а, хлорофилла б, общий индекс хлорофилла, высота растений, фитотоксичность, индекс листовой поверхности, сухая масса надземной части, длина корней и сухая масса корней оценивались у растений огурцов. Применение гербицида вызвало фитотоксичность у растений огурцов и снизило все параметры развития, оцениваемые в первой обработке. Фитотоксический эффект все еще наблюдался во второй обработке, что привело к снижению сухой массы корней и побегов при использовании метсульфурон-метила. Результаты показали, что *T. harzianum T1A* оказал значительное положительное влияние на развитие огурцов, увеличив высоту растений на 36%, индекс листовой поверхности на 71%, длину корней на 23%, сухую массу побегов на 54% и сухую массу корней на 21% в первой культуре при всех использованных дозах гербицида. Во второй культуре значительного влияния триходермы не наблюдалось. Следовательно, *T. harzianum T1A* способствует биостимуляции растений в почве, загрязненной метсульфурон-метилом, и может способствовать биоремедиации.

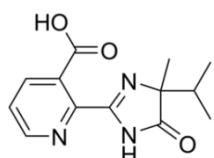
Были оценены комбинации земледелия и биостимуляции для рекультивации отходов гербицидов [5]. Различные количества почвы, загрязненной алахлором и трифлуралином (≥ 100 мг/кг каждого) и метолахлором и атразином (≥ 20 мг/кг каждого), были внесены на полевые участки, а осадок сточных вод или кукурузная мука были включены в выделенные участки.



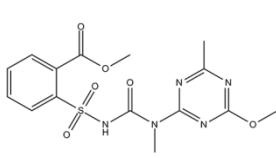
Участки также были обработаны свежими смесями для опрыскивания в количествах, аналогичных тем, которые вносились на загрязненную почву. Биоактивность почвы и рассеивание родительских гербицидов контролировались после обработок. В течение 100 дней активность почвенной дегидрогеназы была самой высокой на участках с внесенным

органическим материалом. За тот же период уровни алахлора снизились на 85–95% на измененных, обработанных загрязненной почве участках и на 75–85% на соответствующих немодифицированных участках. На свежеобработанных участках 95–100% исходной дозы алахлора рассеялось на обработанных участках, а 85–95% – на соответствующих необработанных участках. Уровень трифлуралина снизился на 70–80% на участках, обработанных кукурузной мукой, и на 60–75% на необработанных участках. Существенных различий между рассеянием трифлуралина при внесении в загрязненную почву или при свежем опрыскивании не наблюдалось.

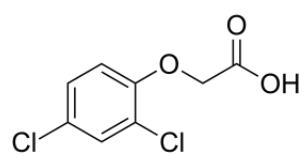
Биологическая рекультивация сельскохозяйственных почв, загрязненных нефтью, осложняется наличием остаточных количеств химических средств защиты растений, в частности, гербицидов, которые, как и нефть, негативно влияют на микробиом почвы и растения [6]. В данной работе исследованы пять штаммов бактерий родов *Pseudomonas* и *Acinetobacter*, которые проявили высокую степень биодеградации нефти (72–96%). Все штаммы проявили устойчивость к гербицидам на основе 2,4-Д, имазетапира и трибенурон-метила, способность к фиксации азота, мобилизации фосфата и образованию индолил-3-уксусной кислоты.



имазетапир



трибенурон-метил



2,4-Д (2,4-дихлорфеноксикусная кислота)

Присутствие поллютантов по-разному влияло на ростстимулирующие свойства бактерий. Наиболее перспективным штаммом *P. citronellolis* N2 было использование его отдельно и совместно с растениями овса и люпина для рекультивации почв от нефти, в том числе обработанных гербицидами нефтезагрязненных почв. Совместное загрязнение оказалось более токсичным для растений и почвенных микроорганизмов. Бактеризация стимулировала образование хлорофилла и подавляла синтез абсцисовой кислоты и малонового диальдегида в тканях растений. Совместное использование бактерий и растений овса наиболее эффективно снижало содержание углеводородов в почве (в том числе в присутствии гербицидов). Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых методов биоремедиации почв с полихимическим загрязнением.

Исследования в области биоремедиации гербицид-загрязненных почв также сообщались в работах [7-25].

Таким образом, несмотря на свою эффективность в защите растений, гербициды могут вызывать широкий спектр возможных экологических последствий из-за их стойкости в экосистеме. Они могут попадать в почву при прямом распылении на поверхность, с ирригационным стоком или выделяться из отмершей растительности. Микробная деградация является основным механизмом, ответственным за трансформацию и детоксикацию большинства гербицидных соединений в почве. Микробная доступность гербицидов для биодеградации в почве в первую очередь определяется такими факторами, как адсорбция, десорбция, биодеградация и образование неизвлекаемых остатков. Изучение этих процессов может привести к лучшему пониманию эффективности и судьбы гербицида в окружающей среде [26].

3. Обсуждение результатов

В наших исследованиях [27-33] в лабораторных условиях изучена деструктивная активность некоторых углеводородокисляющих культур и их ассоциаций, выделенных из нефтезагрязненных почв, в отношении углеводородов нефти. Нефтедеструктивную активность исследуемых ассоциаций микроорганизмов оценивали по суммарному показателю, определяемому весовым методом убыли нефти и нефтепродуктов в жидкой среде. Фитотоксичность почв оценивалась биотестом с помощью семян пшеницы по соотношению числа проросших и не проросших семян, высоты проростков и длины корней. Проведен сопоставительный анализ результатов изучения особенностей изменения составов сырых нефтей и нефтяных загрязнений, подверженных микробиологической деструкции в жидкой минеральной среде и в почве. Использование метода инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье позволяет проанализировать особенности изменения химического состава загрязняющей почвы нефти под влиянием микробиологического окисления и предположить переход ее в более глубокую стадию деградации. Полученные данные свидетельствуют о том, что микробиологические процессы способствуют ароматизации и депарафинизации компонентов исследованной нефти. Использованные микроорганизмы также были предложены для биоремедиации почв, загрязненных пестицидами и гербицидами.

4. Заключение

В представленной работе осуществлен анализ результатов исследований в области биоремедиации почв, загрязненных пестицидами. Показано, что микроорганизмы (бактерии и грибковые патогены) обладают способностью к рекультивации почв, загрязненных гербицидами, пестицидами и другими токсичными химическими соединениями. Отмечены перспективы биоремедиации гербицид-загрязненных почв с применением микробных патогенов.

Acknowledgments: The work was carried out with the financial support of the Institute of Chemistry of Additives of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan

Conflict of Interest: All authors declare that they have no conflict of interest.

ГЕРБИЦИДТЕРМЕН ЛАСТАҒАН ТОПЫРАҚТАРДЫҢ БИОРЕМЕДАЦИЯСЫ

П.Ш. Мамедова, Э.Р. Бабаев*, К.Р. Каҳраманова, Ф.Г. Муштагова

Академик А.М. Кулиев атындағы Қоспалар химиясы институты, Баку, Эзірбайжан

Түйіндеме. Топырактың, жер асты суларының және жер үсті суларының гербицидтермен ластануы тазалауда айтарлықтай қындықтар туғызды. Қазіргі уақытта ең көп таралған едіс - катты ластанған топыракты қоқыс полигондарына қымбат тастауды талап ететін оқшаулау. In-situ өндеуге арналған биоремедиация әдістері үнемді, қалдықсыз тазалау үшін балама және/немесе қосымша тәсілдер ретінде қажет. Микробтардың гербицидтермен ластанған топыракты қалпына келтіру үшін биоремедиация деп аталатын процесс арқылы пайдалануга болады, онда микроорганизмдер ластаушы заттарды нашарлатады немесе зияндылығы азырақ түрлендіреді. Бұл процесс табиғи түрде болуы мүмкін немесе топыракқа белгілі бір микроорганизмдердің немесе коректік заттарды қосу арқылы күштейтілуі мүмкін. Бактериялар мен санырауқұлактар сияқты микроорганизмдерде гербицидтердің улылығы аз қосылыстарға ыдырататын ферменттер бар. Олар көбінесе бұл гербицидтерді тамақ көзі ретінде пайдаланады. Қалпына келтіруді in situ немесе өндеу үшін топыракты алу арқылы (ex situ) жасауға болады. Микробтың ремедиацияға келесі факторлар асер етеді: микробтың белсенделілік (бар микроорганизмдердің түрі мен саны және олардың белгілі бір гербицидтің ыдырату қабілеті); қоршаган орта жағдайлары (температура, ылғалдылық, pH және коректік заттардың колежетімділігі) сияқты факторлар микроорганизмдердің өсуі мен белсенделілігіне асер етуі мүмкін); гербицидтің қасиеттер (гербицидтің химиялық құрылымы мен концентрациясы оның биоыдырағыштығына асер етуі мүмкін); топырак қасиеттері (топырак түрі, органикалық заттардың мөлшері және аэрация микрообтардың белсенделілігіне және гербицидтің биожетімділігіне асер етуі мүмкін).

Түйін сөздер: биоремедиация, микробтар, гербицидтер, биожетімділік, биологиялық ыдырау, мелиорация.

Мамедова Парвин Шамхал кызы	<i>Химия ғылымдарының докторы</i>
Бабаев Эльбей Расим оглы	<i>Химия ғылымдарының кандидаты</i>
Каҳраманова Кенуль Расим кызы	<i>Докторант</i>
Муштагова Фидан Галиб кызы	<i>Докторант</i>

Список литературы:

1. Ahemad M., Khan S., Zaidi A., Ahamed Wani P. Remediation of herbicides contaminated soil using microbes. *Soils*. **2009**, 3, 142-149
2. Wani S., Tantray Y., Malik N., Irfan Dar M. Microbial Bioremediation of Pesticides/Herbicides in Soil Chapter in book – *Microbiota and Biofertilizers*. **2021**, 2, 21-60 DOI:10.1007/978-3-030-61010-4_2
3. Pileggi S.A., Sadowsky M.J. Herbicide bioremediation: from strains to bacterial communities. *Heliyon*. **2020**, 6, N 12, 5767-5773 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05767>
4. Conte E.D., da Rosa E.J., Silvestrini G.R., Motta D.S. Can *Trichoderma* spp. Contribute to the Bioremediation and Biostimulation of Plants in Soil Contaminated with Herbicides? *ACS Omega*. **2025**, 10, N 2, 2243-2252 <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c09197>
5. Dzantor E.K., Felsot A.S., Beck M.J. Bioremediating herbicide-contaminated soils. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **1993**, 39, 621-320 DOI: 10.1007/BF02919023

6. Korshunova T., Kuzina E., Mukhamatdyarova S., Iskuzhina M. Effect of Herbicide-Resistant Oil-Degrading Bacteria on Plants in Soil Contaminated with Oil and Herbicides. *Plants*. **2024**, 13, N 24, 3560-3569 <https://doi.org/10.3390/plants13243560>
7. Ermakova I.T., Kiseleva N.I., Shyshkova T., Zharikov M. Bioremediation of glyphosate-contaminated soils. *Applied Microbiology and Biotechnology*. **2010**, 88, N 2, 585-594 DOI: 10.1007/s00253-010-2775-0
8. Kaake R.H., Roberts D.J., Stevens T.O., Grawford R.L. Bioremediation of soils contaminated with the herbicide 2-sec-butyl-4,6-dinitrophenol (dineoseb) *Applied Environ. Microbiol.* **1992**, 58, N 5, 1683-1689 DOI: 10.1128/aem.58.5.1683-1689.1992
9. Sohrabi M., Parvizi A. Further Study on the Kinetics of Bioremediation of Soils Contaminated with the Herbicide 2,4-Dichlorophenoxy Acetic Acid. *Clean Soil Air Water*. **1997**, 35, N 2, 193-196 DOI:10.31026/j.eng.2014.08.07
10. Galon A., Lima A.M., Guimardes S., Belarmino I.G. Potential of plant species for bioremediation of soils applied with imidazoli herbicides. *Planta daninla*. **2014**, 32, N 4, 719-726 DOI:10.1590/S0100-83582014000400006
11. Nguyen L.A., Dang T.C., Koekkoek J., Braster M. Species and Metabolic Pathways Involved in Bioremediation of Vietnamese Soil From Bien Hoa Airbase Contaminated With Herbicides. *Front. Sustain.* **2021**, 3, 127-142 DOI:10.3389/frsc.2021.692018
12. Urbaniak M., Mierzejewska E. Biological Remediation of Phenoxy Herbicide-Contaminated Environments. *Chapter in book – Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches*, **2019**, 256 DOI:10.5772/intechopen.88256
13. Kanissery R.G., Sims G.K. Biostimulation for the Enhanced Degradation of Herbicides in Soil. *Applied and Environmental Soil Science*. **2011**, 15, 450-472 DOI:10.1155/2011/843450
14. Makut D., Bello A. Assessment of the Biodegradation of Herbicides by Bacteria Isolated from the Soil. *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology*. **2018**, 4, N 1, 1-6. DOI:10.9734/AJB2T/2018/42683
15. Wang J., Xinyu L., Xu LI., Huanhuan W. Dynamic changes in microbial communities during the bioremediation of herbicide (chlorimuron-ethyl and atrazine) contaminated soils by combined degrading bacteria. *PLOS One*. **2018**, N 1, 1371-1378 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194753>
16. Hernandez M., Morgante V., Flores C., Villalobos P. Modern approaches for the study of S-triazine herbicide bioremediation in agricultural. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **2008**, 8, N 2, 19-30 DOI:10.4067/S0718-27912008000200004
17. Arotiowa O., Ajani A.O., Aremu M.O., Agarry S.E. Bioremediation of Atrazine Herbicide Contaminated Soil Using Different Bioremediation Strategies. *J. Applied Sci. Environm. Management*. **2019**, 23, N 1, 99-109 DOI:10.4314/jasem.v23i1.16
18. Mustafa Y.A., Abdul-Hameed H., Razak H.A. Bioremediation of Soils Contaminated with 2,4-D Herbicide using bioslurry reactor. *Journal of Engineering*. **2014**, 20, N 8, 109-128 DOI:10.31026/j.eng.2014.08.07
19. Loring N. Bioremediation Treatability Studies for Soils Containing Herbicides, Chemicals, and Petroleum Products. *Environmental Sciences*. **2018**, N 4, 2-44 DOI 10.5703/1288284313154
20. Harris R.F. Bioremediation of Herbicide Contaminated Soil and Water. *University of Wisconsin--Madison. Water Resources Center*. **2018**, 28. DOI:10.4038/jas.v17i1.9609
21. Giri B.Sh., Geed S., Vikrant K., Sang S.L. Progress in bioremediation of pesticide residues in the environment. *Environ. Eng. Res.* **2021**, 26, N 6, 446-470 DOI:10.4491/eer.2020.446
22. Hussain S., Siddique T., ArshadM., Saleem M. Bioremediation and Phytoremediation of Pesticides: Recent Advances. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. **2009**, 39, N 10, 843-907 <https://doi.org/10.1080/10643380801910090>
23. Erguvan G.O., Yildirim N. Microbial Bioremediation of pesticides from contaminated environments. *III-rd International Agricultural, Biological & Life Science Conference*, Edirne, Turkey. 1-3 September, **2021**, 17-20
24. Erguvan G.O. Comparison of some soil fungi in bioremediation of herbicide acetochlor under agitated culture media. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. **2018**, 100, 570-575 DOI:10.1007/s00128-018-2280-1
25. Erguvan G.O., Nuhoglu Y. Bioremediation of fluazifop-p-butyl herbicide by some soil bacteria isolated from various regions of Turkey in an artificial agricultural field. *Environment Protection Engineering*. **2020**, 46, N 3, 211-218 DOI:10.37190/epc200301

26. Kanissery R., Gairhe B., McAvoy C., Sims G. Herbicide Bioavailability Determinant Processes in the Soil. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. **2018**, N 1, 458-461 DOI:10.4172/2155-6199.1000458
27. Бабаев Э.Р. Микробиологическая деструкция нефти в почвах Апшеронского полуострова. *Территория Нефтегаз*. **2017**, 11, 64-76
28. Mamedova P.Sh., Babayev E.R., Sultanova S.A., Kahramanova K.R., Yagubova A.V. Evalution of microorganism numbers in samples of petroleum contaminated soils from territories of Apsheron region. Экоэнергетика. **2007**, 2, 32-33.
29. Мамедова П.Ш., Каҳраманова К.Р., Бабаев Э.Р., Алиева Х.Ш. Выделение активных углеводородокисляющих бактерий из нефтезагрязненных почв Сураханского месторождения. *Азербайджанский химический журнал*. **2008**, 3, 59-62
30. Фарзалиев В.М., Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш. Анализ активности отдельных штаммов-деструкторов нефтепродуктов и их ассоциаций для очистки нефтезагрязненных почв. *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. **2008**, 3-4(35-36), 229- 231.
31. Фарзалиев В.М., Бабаев Э.Р., Кулиева Д.М. Выбор оптимальных питательных сред и условий культивирования для активного роста микроорганизмов-деструкторов нефти. *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. **2008**, 3-4(35-36), 177- 181.
32. Бабаев Э.Р., Мовсумзаде М.Э. Преобразование нефти в процессе микробиологической деградации в почве. *Башкирский химический журнал*. **2009**, 6, № 3, 80-85.
33. Бабаев Э.Р., Мовсумзаде М.Э., Мамедова П.Ш., Кулиева Д.М., Велиева Ф.М. Оптимизация состава питательных сред для нефтеокисляющих дрожжевых культур рода *Candida*. *Нефтепереработка и нефтехимия*. **2010**, 11, 46-51.